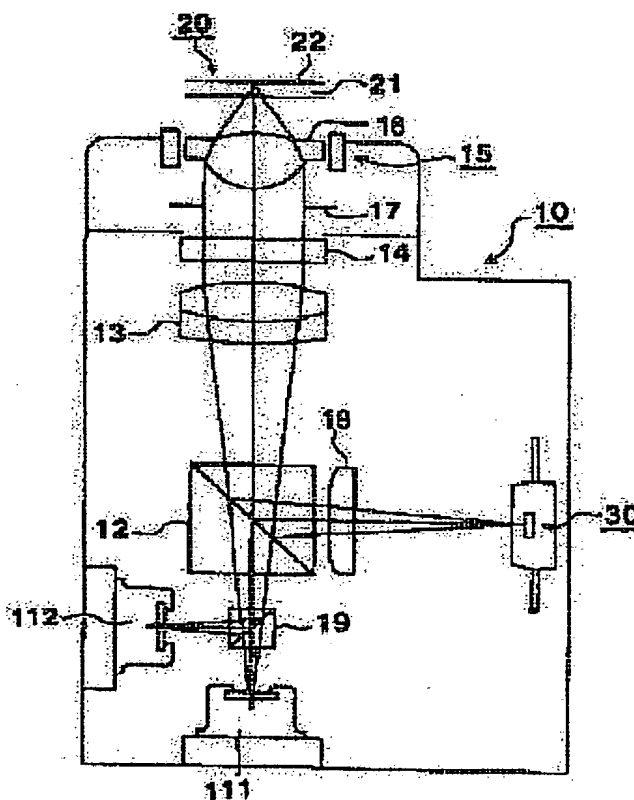


Publication number: JP2000056216 (A)
Publication date: 2000-02-25
Inventor(s): YAMAZAKI NORIYUKI
Applicant(s): KONISHIROKU PHOTO IND
Classification:
- international: **G02B13/00; G11B7/135; G02B13/00; G11B7/135; (IPC1-7): G02B13/00; G11B7/135**
- European:
Application number: JP19990156580 19990603
Priority number(s): JP19990156580 19990603; JP19980169163 19980603

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the intensity of a spot concerning the recording media of different wavelength and thickness by shifting the phase of at least one of split light flux in respect to the other light flux. **SOLUTION:** When reproducing a first optical disk with thickness t_1 of a transparent substrate 21 in an optical pickup device 10, an objective lens 16 is driven by a two-dimensional (2D) actuator 15 so that a beam spot can form a minimum blur circle (for best focus).; When reproducing the second optical disk of recording density lower than that of the first optical disk with thickness t_2 ($t_2 > t_1$) of the transparent substrate 21 different from t_1 , at the front side position (front pin) closer to the objective lens 16 than the position of the minimum blur circle, the size of the entire spot is larger than the minimum blur circle but a nuclear concentrating the quantity of light at a central part and the flare of unwanted light around the nucleus are formed. While utilizing this nucleus, the 2D actuator 15 is driven so as to turn the objective lens 16 into defocus state at the time of reproducing the second optical disk.



<http://v3.espacenet.com/publicationDetails/biblio?adjacent=true&KC=A&date=20000225&N...> 2009/02/10

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-56216

(P2000-56216A)

(43) 公開日 平成12年2月25日 (2000.2.25)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード (参考)

G 0 2 B 13/00

G 0 2 B 13/00

G 1 1 B 7/135

G 1 1 B 7/135

A

審査請求 未請求 請求項の数44 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願平11-156580

(22) 出願日 平成11年6月3日 (1999.6.3)

(31) 優先権主張番号 特願平10-169163

(32) 優先日 平成10年6月3日 (1998.6.3)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000001270

コニカ株式会社

東京都新宿区西新宿1丁目26番2号

(72) 発明者 山崎 敬之

東京都八王子市石川町2970番地 コニカ株

式会社内

(74) 代理人 100084607

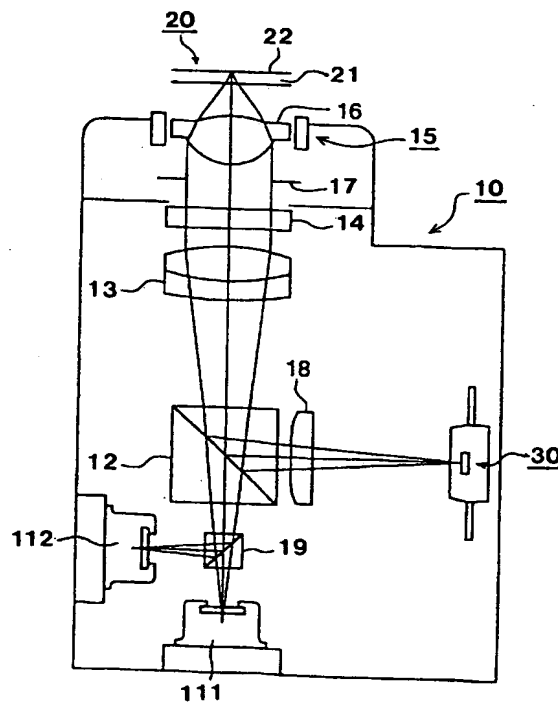
弁理士 佐藤 文男 (外2名)

(54) 【発明の名称】 光ピックアップ用光学系および光ピックアップ装置

(57) 【要約】

【課題】 複数の光情報記録媒体を同一の光ピックアップによって記録再生を行なうため、球面収差を利用して、波長の異なる光源及び／または記録面の厚みの異なる透明基板に対して回折限界内のスポットを生じるように収差補正された対物レンズを用いる光ピックアップで、収束効率を高める。

【解決手段】 集光光学系の光束を光軸近傍から外側に向かって輪帯上に3つの光束に分割し、光軸近傍から外側に向かって順次第1光束は第1、第2光情報記録媒体用であり、第2光束は主に第2光情報記録媒体用、第3光束は主に第1光情報記録媒体用とし、3つに分割された光束の少なくとも1つを他の光束に対してスポットの強度を上げるように位相をシフトする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長の異なる2つのレーザ光源、光源からのレーザビームを記録面に収束する対物レンズを含む1つの集光光学系、および記録面からの反射光を検出する受光素子からなり、透明基板の厚みが異なる少なくとも2種の光情報記録媒体の記録再生用光ピックアップのための光学系において、

該光学系は、集光光学系の光束が光軸近傍から外側に向かって輪带状に3つの光束に分割される手段を含み、光軸近傍から外側に向かって順次第1、第2、第3光束としたとき、第1光束は全ての透明基板の厚みの異なる記録媒体用であり、第2光束は主に厚い透明基板を有する記録媒体用、第3光束は主に薄い透明基板を有する記録媒体用であり、

波長、厚みの異なる両記録媒体に対してスポットの強度を上げるように、3つに分割された光束の少なくとも1つを他の光束に対して位相をシフトすることを特徴とする光ピックアップ用集光光学系。

【請求項2】 上記位相シフトの発生は、対物レンズに同心円状に分割された複数の輪帯を設け、各輪帯は、波長の異なる複数の光源、および厚みの異なる透明基板に対して、第1、第3輪帯は短い波長、薄い基板に対して回折限界内に収差補正されており、第2輪帯は長い波長において厚い基板または厚い基板と薄い基板の間の厚さに対して回折限界内に収差補正されており、各輪帯屈折面相互の光軸上の位置を調整することによってそれぞれの光束に所定の位相シフトを生じさせたことを特徴とする請求項1の光ピックアップ用集光光学系。

【請求項3】 上記複数の輪帯は、同心円状に分割された複数の輪帯からなる屈折面を対物レンズの光源側に設けたことを特徴とする請求項1または2の光ピックアップ用集光光学系。

【請求項4】 上記複数の輪帯は、同心円状に分割された複数の輪帯からなる屈折面を対物レンズの光情報記録媒体側面に設けたことを特徴とする請求項1または2の光ピックアップ用集光光学系。

【請求項5】 上記複数の輪帯は、同心円状に分割された複数の輪帯からなる屈折面を対物レンズの両面に設けたことを特徴とする請求項1または2の光ピックアップ用集光光学系。

【請求項6】 上記複数の輪帯は、対物レンズ以外の光学素子に設けたことを特徴とする請求項1の光ピックアップ用集光光学系。

【請求項7】 透明基板の厚さがそれぞれ異なる少なくとも2種の光情報記録媒体の記録および/または再生用の光ピックアップ装置において、波長が λ_1 である第1の光束を出射する第1の光源と、波長 λ_1 より長い波長 λ_2 の光束を出射する第2の光源と、対物レンズを有する集光光学系と、

光検出器とを有し、

上記対物レンズは光軸と、非球面である第1の表面と、上記第1の表面に対向する第2の表面を有し、

上記第1の表面は、第1分割面と、光軸に対し上記第1分割面より外側にある第2分割面と、光軸に対し上記第2分割面より外側にある第3分割面を有し、

上記第1分割面と上記第3分割面を通った上記第1の光束は、第1の光情報記録媒体に情報を記録および/または第1の光情報記録媒体から再生できる程度に、上記第1の光情報記録媒体の厚さが t_1 である第1の透明基板を通して、上記第1の光情報記録媒体の第1の情報記録面上に集光され、

上記第1分割面と上記第2分割面を通った上記第2の光束は、第2の光情報記録媒体に情報を記録および/または第2の光情報記録媒体から再生できる程度に、上記第2の光情報記録媒体の厚さが t_2 ($t_2 > t_1$) である第2の透明基板を通して、上記第2の光情報記録媒体の第2の情報記録面上に集光され、

上記光検出器は、上記第1の情報記録面、または上記第2の情報記録面から反射された光束を受光し、

上記第1の情報記録面上に集光された第1の光のピーク強度比が0.9以上となり、上記第2の情報記録面上に集光された第2の光のピーク強度比が0.8以上となるように、

上記第2分割面を非球面形状式にしたがって光軸まで延長したときの光軸との交点と、上記第2の表面との光軸上の距離が、定められていることを特徴とする光ピックアップ装置。

【請求項8】 上記第1の光情報記録媒体と、上記第2の光情報記録媒体は、共に光ディスクであることを特徴とする請求項7の光ピックアップ装置。

【請求項9】 上記第1の光情報記録媒体の透明基板の厚さ t_1 は0.6mmであり、上記第2の光情報記録媒体の透明基板の厚さ t_2 は1.2mmであることを特徴とする請求項8の光ピックアップ装置。

【請求項10】 上記第1の透明基板の屈折率も、上記第2の透明基板の屈折率も1.58であることを特徴とする請求項9の光ピックアップ装置。

【請求項11】 上記第1の光束の波長 λ_1 は、600nm以上680nm以下であって、上記第2の光束の波長 λ_2 は、740nm以上870nm以下であることを特徴とする請求項7ないし請求項10のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項12】 上記第2分割面を通った上記第2の光束は、仮想の第3の光情報記録媒体の情報記録面上での波面収差が $0.07\lambda_{rms}$ 以下になるように、上記第3の光情報記録媒体の情報記録面上に、上記第3の光情報記録媒体の厚さが t_3 ($t_1 < t_3 < t_2$) である第3の透明基板を通して、集光されることを特徴とする請求項7ないし請求項11のいずれかに記載の光ピックアップ

ップ装置。

【請求項13】 上記第1分割面と上記第3分割面を通った上記第1の光束は、上記第1の情報記録面上での波面収差が $0.07\lambda_1 \text{ rms}$ 以下になるように、上記第1の情報記録面上に集光されることを特徴とする請求項7ないし請求項12のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項14】 上記第1分割面を通った上記第2の光束は、上記第2の情報記録面上での最良波面収差が $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ 以下になるように、上記第2の情報記録面上に集光されることを特徴とする請求項7ないし請求項13のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項15】 上記第1分割面を通った上記第1の光束が集光する第1の焦点位置とほぼ同じ位置または同じ位置に、上記第3分割面を通った上記第1の光束が集光される際に、上記第2分割面を通った上記第1の光束は、上記第1の焦点位置よりも、上記対物レンズに近い第2の焦点位置に集光されることを特徴とする請求項7ないし請求項14のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項16】 上記第2分割面は上記光軸を中心とするリング状であることを特徴とする請求項7ないし請求項15のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項17】 上記第1分割面と上記第2分割面との境界、または上記第2分割面と前記第3分割面との間に段差が設けられていることを特徴とする請求項7ないし請求項16のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項18】 段差が、上記第1の表面と、上記第2の表面の両方に設けられていることを特徴とする請求項7ないし請求項17のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項19】 上記第1の表面が、光源に近い面であることを特徴とする請求項7ないし請求項18のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項20】 上記第1の表面が、光情報記録媒体に近い面であることを特徴とする請求項7ないし請求項18のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項21】 上記第2分割面が、上記第1分割面に比して凹んでいることを特徴とする請求項7ないし請求項20のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項22】 上記対物レンズはプラスチックレンズであることを特徴とする請求項7ないし請求項21のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項23】 透明基板の厚さがそれぞれ異なる少なくとも2種の光情報記録媒体の記録および／または再生用の光ピックアップ装置において、波長が λ_1 である第1の光束を出射する第1の光源と、波長 λ_1 より長い波長 λ_2 の光束を出射する第2の光源と、集光光学系と、

光検出器とを有し、

上記集光光学系は、第1分割部と、上記第1分割部より上記集光光学系の光軸から離れている第2分割部と、上記第2分割部より上記光軸から離れている第3分割部を有し、

上記第1分割部と上記第3分割部を通った上記第1の光束は、第1の光情報記録媒体に情報を記録および／または第1の光情報記録媒体から再生できる程度に、上記第1の光情報記録媒体の厚さが t_1 である第1の透明基板を通して、上記第1の光情報記録媒体の第1の情報記録面上に集光され、

上記第1分割部と上記第2分割部を通った上記第2の光束は、第2の光情報記録媒体に情報を記録および／または第2の光情報記録媒体から再生できる程度に、上記第2の光情報記録媒体の厚さが t_2 ($t_2 > t_1$) である第2の透明基板を通して、上記第2の光情報記録媒体の情報記録面上に集光され、

上記光検出器は、上記第1の情報記録面、または上記第2の情報記録面から反射された光束を受光し、

上記第1分割部と上記第2分割部との境界、もしくは、上記第2分割部と上記第3分割部との境界において、波面収差が段差を有しており、

以下の条件式を満たすことを特徴とする光ピックアップ装置。

$$W1 - W2 = m\lambda_1 - \delta$$

$$|m| \leq 10 \quad (m \text{ は } 0 \text{ を含む整数})$$

$$0 \leq \delta < 0.34\lambda_1$$

$$W3 - W4 = m\lambda_2 - \delta$$

$$|m| \leq 10 \quad (m \text{ は } 0 \text{ を含む整数})$$

$$0 \leq \delta < 0.34\lambda_2$$

W1は、上記第1の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが大きい方の波面収差量を示す。W2は、上記第1の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが小さい方の波面収差量を示す。 λ_1 は上記第1の光束の波長を示す。W3は、上記第2の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが大きい方の波面収差量を示す。W4は、上記第2の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが小さい方の波面収差量を示す。 λ_2 は上記第2の光束の波長を示す。

【請求項24】 以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項23に記載の光ピックアップ装置。

$$0 < \delta < 0.34\lambda_1$$

$$0 < \delta < 0.34\lambda_2$$

【請求項25】 以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項23に記載の光ピックアップ装置。

$$0 \leq \delta < 0.25\lambda_1$$

$$0 \leq \delta < 0.25\lambda_2$$

【請求項26】 上記集光光学系は、対物レンズを有し、

上記対物レンズは、非球面である第1の表面と、上記第1の表面に対向する第2の表面を有し、
上記第1の表面が、上記第1分割部と、上記第1分割部より上記対物レンズの光軸から離れている第2分割部と、上記第2分割部より上記光軸から離れている第3分割部を有していることを特徴とする請求項23ないし請求項25のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項27】 上記第1の光情報記録媒体と、上記第2の光情報記録媒体は、共に光ディスクであることを特徴とする請求項23ないし請求項26のいずれかに記載のピックアップ装置。

【請求項28】 上記 t_1 は0.6mmであって、上記 t_2 は1.2mmであることを特徴とする請求項27の光ピックアップ装置。

【請求項29】 上記第1の透明基板の屈折率も、上記第2の透明基板の屈折率も1.58であることを特徴とする請求項28の光ピックアップ装置。

【請求項30】 上記 λ_1 は、600nm以上680nm以下であって、上記 λ_2 は、740nm以上870nm以下であることを特徴とする請求項23ないし請求項29のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項31】 上記第2分割部を通った上記第2の光束は、仮想の第3の光情報記録媒体の第3の情報記録面上での波面収差が $0.07\lambda_{rms}$ 以下になるように、上記第3の光情報記録媒体の第3の情報記録面上に、上記第3の光情報記録媒体の厚さが t_3 ($t_1 < t_3 < t_2$)である第3の透明基板を通して、集光されることを特徴とする請求項23ないし請求項30のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項32】 上記第1分割部と上記第3の分割部を通った上記第1の光束は、上記第1の情報記録面上での波面収差が $0.07\lambda_{rms}$ 以下になるように、上記第1の情報記録面上に集光されることを特徴とする請求項23ないし請求項31のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項33】 上記第1分割部を通った上記第2の光束は、上記第2の情報記録面上での最良波面収差が $0.07\lambda_{rms}$ 以下になるように、上記第2の情報記録面上に集光されることを特徴とする請求項23ないし請求項32のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項34】 上記第1分割部を通った上記第1の光束が集光する第1の焦点位置とほぼ同じ位置または同じ位置に、上記第3分割部を通った上記第1の光束が集光される際に、上記第2分割部を通った上記第1の光束は、上記第1の焦点位置よりも、上記対物レンズに近い第2の焦点位置に集光されることを特徴とする請求項23ないし請求項33のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項35】 上記第2分割部は上記光軸を中心とするリング状であることを特徴とする請求項23ないし請

求項34のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項36】 上記第1分割部と上記第2分割部との境界、または上記第2分割部と上記第3分割部との間に段差が設けられていることを特徴とする請求項23ないし請求項33のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項37】 段差が、上記第1の表面と、上記第2の表面の両方に設けられていることを特徴とする請求項26ないし請求項36のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

10 【請求項38】 上記第1の表面が、光源に近い面であることを特徴とする請求項26ないし請求項37のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項39】 上記第1の表面が、光情報記録媒体に近い面であることを特徴とする請求項26ないし請求項37のいずれかに記載の光ピックアップ装置。

【請求項40】 上記第2分割部が、上記第1分割部に比して凹んでいることを特徴とする請求項23ないし請求項39の光ピックアップ装置。

20 【請求項41】 上記対物レンズはプラスチックレンズであることを特徴とする請求項26の光ピックアップ装置。

【請求項42】 上記集光光学系は、対物レンズと、対物レンズ以外の光学素子を有し、上記第1分割部、上記第2分割部、上記第3分割部は、上記対物レンズ以外の光学素子に設けられていることを特徴とする請求項23の光ピックアップ装置。

【請求項43】 請求項7の光ピックアップ装置を有することを特徴とする、
透明基板の厚さがそれぞれ異なる少なくとも2種の光情報記録媒体の記録および／または再生を行う光情報記録／再生装置。

30 【請求項44】 請求項23の光ピックアップ装置を有することを特徴とする、
透明基板の厚さがそれぞれ異なる少なくとも2種の光情報記録媒体の記録および／または再生を行う光情報記録／再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

40 【産業上の利用分野】 本発明は、光源から出射した光束を集光光学系で情報記録面に集光させ、光情報記録媒体上に情報を記録又は情報記録面上の情報を再生する光情報記録媒体の記録／再生方法、光ピックアップ装置、これらに用いられる集光光学系、及び対物レンズに関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、短波長赤色半導体レーザ実用化に伴い、従来の光情報記録媒体（光ディスクともいう）であるCD（コンパクトディスク）と同程度の大きさで大容量化させた高密度の光情報記録媒体であるDVD（デジタルビデオディスク、あるいは、デジタルバーサタイ

トディスクともいう)の開発が進んできている。このDVDでは、635nmの短波長半導体レーザを使用したときの対物レンズの光ディスク側の開口数NAを0.6としている。なお、DVDは、トラックピッチ0.74μm、最短ピット長0.4μmであり、CDのトラックピッチ1.6μm、最短ピット長0.83μmに対して半分以上に高密度化されている。また、上述したCD、*

*DVDの他に、種々の規格の光ディスク、例えば、CD-R(追記型コンパクトディスク)、CD-RW、LD(レーザディスク)、MD(ミニディスク)、MO(光磁気ディスク)なども商品化されて普及している。表1に種々の光ディスクの透明基板の厚さと、必要開口数を示す。

【表1】

| 光ディスク | 透明基板厚(mm) | 必要開口数NA(光源波長λnm) |
|-----------------------|-----------|------------------|
| CD, CD-R(再生のみ) | 1.20 | 0.45(λ=780) |
| CD-R(記録、再生) | 1.20 | 0.50(λ=780) |
| LD | 1.25 | 0.50(λ=780) |
| MD | 1.20 | 0.45(λ=780) |
| MO(ISO 3.5inch 230MB) | 1.20 | 0.55(λ=780) |
| MO(ISO 3.5inch 640MB) | 1.20 | 0.55(λ=680) |
| DVD | 0.60 | 0.60(λ=635) |

【0003】なお、CD-Rについては光源波長λ=780(nm)である必要があるが、他の光ディスクにおいては、表1に記載した光源波長以外の波長の光源を使用することができ、この場合、使用する光源波長λに応じて必要開口数NAが変わる。例えば、CDの場合は必要開口数NA=λ(μm)/1.73、DVDの場合は必要開口数NA=λ(μm)/1.06で近似される。

【0004】なお、本明細書でいう開口数(例えば、以下NA1、NA2、NAL、NAH、NA3、NA4などとして表される)は、透明基板側から見た集光光学系の開口数のことである。

【0005】このように、市場にはサイズ、基板厚、記録密度、使用波長などが種々異なる様々な光ディスクが存在する時代となっており、様々な光ディスクに対応できる光ピックアップ装置が提案されている。

【0006】その1つとして、異なる光ディスクそれぞれに対応した集光光学系を備え、再生する光ディスクにより集光光学系を切り換える光ピックアップ装置が提案されている。しかしながら、この光ピックアップ装置では、集光光学系が複数必要となりコスト高を招くばかりでなく、集光光学系を切り換えるための駆動機構が必要となり装置が複雑化し、その切り換え精度も要求され、好ましくない。

【0007】そこで、1つの集光光学系を用いて、複数の光ディスクを再生する光ピックアップ装置が種々提案されている。

【0008】その1つとして、特開平7-302437号公報には、対物レンズの屈折面をリング状の複数領域に分割し、各々の分割面が厚さの異なる光ディスクのうち1つにビームを結像させることにより再生する光ピックアップ装置が開示されている。

【0009】他に、特開平7-57271号公報には、

透明基板の厚さt1の第1光ディスクのときには、集光されるビームの有する波面収差が0.07λ以下となるように設計した対物レンズを用い、透明基板の厚さt2の第2光ディスクのときには少しデフォーカスした状態で集光スポットを形成する光ピックアップ装置が開示されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開平7-302437号公報に開示された光ピックアップ装置においては、1つの対物レンズで同時に2つの焦点に入射光量を分割するため、レーザ出力を大きくする必要があり、コスト高を招く。また、特開平7-57271号公報に開示された光ピックアップ装置では、第2光ディスク再生時にはサイドローブによるジッターの増加が起こる。特に、第1の光ディスクで波面収差が0.07λ以下とした対物レンズで、第2の光ディスクを無理矢理再生しているために、第2の光ディスクの再生可能な開口数には限界がある。

【0011】また、使用波長に応じた複数のレーザ光源を備えながら、同一の対物レンズで記録面へ必要な開口数でレーザ光を収束する光ピックアップが、各種提案されている(例えば特開平8-55363号公報、同平10-92010号公報など)。しかし、このため光学系の構成が複雑となり、これにつれて使用部品点数が増加する、あるいは性能が低下するなどの問題があった。

【0012】本発明者等は先に、同心円状に分割された複数の輪帯からなり、各輪帯は、波長の異なる複数の光源、及び/または、記録面の厚みの異なる透明基板に対して、それによって生じる球面収差を積極的に利用することにより、それぞれの光情報記録媒体に対して回折限界内に収差補正された特殊対物レンズを開発し、これを用いた構成が簡素化された光ピックアップを提案した

(特願平9-286954号)。この対物レンズは、使用波長及び／または透明基板の厚みに応じて自動的に必要な開口を得られるという機能を有している。しかし、異なる光情報記録媒体に対応するための輪帯からの光束は、位相のずれによりスポットの光強度が低下し記録再生に利用出来ないという問題があった。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の一つは、波長の異なる2つのレーザ光源、光源からのレーザビームを記録面に収束する対物レンズを含む1つの集光光学系、および記録面からの反射光を検出する受光素子からなり、透明基板の厚みが異なる少なくとも2種の光情報記録媒体の記録再生用光ピックアップのための光学系において、該光学系は、集光光学系の光束が光軸近傍から外側に向かって輪帯状に3つの光束に分割される手段を含み、光軸近傍から外側に向かって順次第1、第2、第3光束としたとき、第1光束は全ての透明基板の厚みの異なる記録媒体用であり、第2光束は主に厚い透明基板を有する記録媒体用、第3光束は主に薄い透明基板を有する記録媒体用であり、波長、厚みの異なる両記録媒体に対してスポットの強度を上げるように、3つに分割された光束の少なくとも1つを他の光束に対して位相をシフトすることを特徴とする光ピックアップ用集光光学系である。

【0014】上記位相シフトの発生は、好ましくは、対物レンズに同心円状に分割された複数の輪帯を設け、各輪帯は、波長の異なる複数の光源、および厚みの異なる透明基板に対して、第1、第3輪帯は短い波長、薄い基板に対して回折限界内に収差補正されており、第2輪帯は長い波長において厚い基板または厚い基板と薄い基板の間の厚さに対して回折限界内に収差補正された特殊対物レンズによることができる。

【0015】本発明の別の一つは、透明基板の厚さがそれぞれ異なる少なくとも2種の光情報記録媒体の記録および／または再生用の光ピックアップ装置において、波長が λ_1 である第1の光束を出射する第1の光源と、波長 λ_1 より長い波長 λ_2 の光束を出射する第2の光源と、対物レンズを有する集光光学系と、光検出器とを有し、上記対物レンズは光軸と、非球面である第1の表面と、上記第1の表面に対向する第2の表面を有し、上記第1の表面は、第1分割面と、光軸に対し上記第1分割面より外側にある第2分割面と、光軸に対し上記第2分割面より外側にある第3分割面を有し、上記第1分割面と上記第3分割面を通った上記第1の光束は、第1の光情報記録媒体に情報を記録および／または第1の光情報記録媒体から再生できる程度に、上記第1の光情報記録媒体の厚さが t_1 である第1の透明基板を通して、上記第1の光情報記録媒体の第1の情報記録面上に集光され、上記第1分割面と上記第2分割面を通った上記第2の光束は、第2の光情報記録媒体に情報を記録および／

または第2の光情報記録媒体から再生できる程度に、上記第2の光情報記録媒体の厚さが t_2 ($t_2 > t_1$)である第2の透明基板を通して、上記第2の光情報記録媒体の第2の情報記録面上に集光され、上記光検出器は、上記第1の情報記録面、または上記第2の情報記録面から反射された光束を受光し、上記第1の情報記録面上に集光された第1の光のピーク強度比が0.9以上となり、上記第2の情報記録面上に集光された第2の光のピーク強度比が0.8以上となるように、上記第2分割面を非球面形状式にしたがって光軸まで延長したときの光軸との交点と、上記第2の表面との光軸上の距離が、定められていることを特徴とする光ピックアップ装置である。

【0016】本発明のさらに別の一つは、透明基板の厚さがそれぞれ異なる少なくとも2種の光情報記録媒体の記録および／または再生用の光ピックアップ装置において、波長が λ_1 である第1の光束を出射する第1の光源と、波長 λ_1 より長い波長 λ_2 の光束を出射する第2の光源と、集光光学系と、光検出器とを有し、上記集光光学系は、第1分割部と、上記第1分割部より上記集光光学系の光軸から離れている第2分割部と、上記第2分割部より上記光軸から離れている第3分割部を有し、上記第1分割部と上記第3分割部を通った上記第1の光束は、第1の光情報記録媒体に情報を記録および／または第1の光情報記録媒体から再生できる程度に、上記第1の光情報記録媒体の厚さが t_1 である第1の透明基板を通して、上記第1の光情報記録媒体の第1の情報記録面上に集光され、上記第1分割部と上記第2分割部を通った上記第2の光束は、第2の光情報記録媒体に情報を記録および／または第2の光情報記録媒体から再生できる程度に、上記第2の光情報記録媒体の厚さが t_2 ($t_2 > t_1$)である第2の透明基板を通して、上記第2の光情報記録媒体の情報記録面上に集光され、上記光検出器は、上記第1の情報記録面、または上記第2の情報記録面から反射された光束を受光し、上記第1分割部と上記第2分割部との境界、もしくは、上記第2分割部と上記第3分割部との境界において、波面収差が段差を有しており、 W_1 は、上記第1の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが大きい方の波面収差量を示す。 W_2 は、上記第1の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが小さい方の波面収差量を示す。 λ_1 は上記第1の光束の波長を示し、 W_3 は、上記第2の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが大きい方の波面収差量を示す。 W_4 は、上記第2の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが小さい方の波面収差量を示す。 λ_2 は上記第2の光束の波長を示すとしたとき、

$$W_1 - W_2 = m \lambda_1 - \delta$$

$$|m| \leq 10 \quad (m \text{ は } 0 \text{ を含む整数})$$

$$0 \leq \delta < 0.34 \lambda_1$$

$$W3 - W4 = m\lambda 2 - \delta$$

$$|m| \leq 10 \quad (m \text{ は } 0 \text{ を含む整数})$$

$$0 \leq \delta < 0.34\lambda 2$$

の条件式を満たすことを特徴とする光ピックアップ装置である。

【0017】

【発明の実施の形態】上記集光光学系の光束は光軸近傍から外側に向かって輪帯状に3以上の複数の光束に分割することが出来、光軸近傍から外側に向かって順次第1、第2、第3・・・光束としたとき、第1光束は全ての透明基板の厚みの異なる記録媒体用であり、第(2n) (nは整数) 光束は主に厚い透明基板を有する記録媒体用、第(2n+1) 光束は主に薄い透明基板を有する記録媒体用とすることが出来る。また、この発明の光ピックアップ用集光光学系は、対物レンズを、同心円状に分割された複数の輪帯からなる屈折面を光源側に有し、各輪帯は、例えばDVD用の $\lambda 1$ およびCD用の $\lambda 2$ ($\lambda 1 < \lambda 2$) のように波長の異なる複数の光源、及び/または、記録面の厚みの異なる透明基板 $t 1$ 、 $t 2$ ($t 1 < t 2$) および $t 1 \sim t 2$ に対して回折限界内に収差補正されたレンズとすることができる。上記 $t 1 \sim t 2$ は、第2輪帯が回折限界内に収差補正されている仮想的な基板の厚みを $t 3$ としたとき、

$$(t 1 + t 2) \times 0.4 \leq t 3 \leq t 2$$

$$\text{好ましくは} \quad (t 1 + t 2) \times 0.45 \leq t 3 \leq t 2$$

とすることによって望ましい位相シフトを生じさせることが出来る。

【0018】上記輪帯面は対物レンズの光情報記録媒体側面に設けることが出来、また、対物レンズの両面に輪帯屈折面を設けることによっても実現可能である。さらには、集光レンズなど、対物レンズ以外の光学素子に位相シフト部を設けることによっても実施することが出来る。

【0019】

【実施例】以下図面を参照して、本発明をさらに詳細に説明する。図1は本発明の光ピックアップの1実施例の概略構成図であり、第1光ディスクの再生時のための第1光源である第1半導体レーザ111 (波長 $\lambda 1 = 610 \text{ nm} \sim 670 \text{ nm}$) と、第2光ディスクの再生時のための第2光源である第2半導体レーザ112 (波長 $\lambda 2 = 740 \text{ nm} \sim 870 \text{ nm}$) とを有している。また、合成手段19は、第1半導体レーザ111から出射された光束と第2半導体レーザ112から出射された光束とを合成することが可能な手段であって、両光束を1つの集光光学系を介して光ディスク20に集光させるために、同一光路とする手段である。

【0020】まず、透明基板の厚さ $t 1$ である第1光ディスクを再生する場合、第1半導体レーザ111からビームを出射し、出射された光束は、合成手段19、偏光

ビームスプリッタ12、コリメータレンズ13、1/4波長板14を透過して円偏光の平行光束となる。この光束は、絞り17によって絞られ、対物レンズ16により第1光ディスク20の透明基板21を介して情報記録面22上に集光される。これにより、情報記録面22上に情報の再生又は記録が可能な程度のビームスポットが形成される。そして、情報記録面22で情報ビットにより変調されて反射した光束は、再び対物レンズ16、1/4波長板14、コリメータレンズ13を透過して偏光ビームスプリッタ12に入射し、ここで反射してシリンドリカルレンズ18により非点収差が与えられ光検出器30上へ入射し、光検出器30から出力される信号を用いて第1光ディスク20に記録された情報の読み取り (再生) 信号が得られる。また、光検出器30上でのスポットの形状変化による光量分布変化を検出して、合焦検出やトラック検出を行う。この検出に基づいて2次元アクチュエータ15が半導体レーザ111からの光を第1光ディスク20の情報記録面22上に結像するように対物レンズ16を移動させるとともに、半導体レーザ111からの光を所定のトラックに結像するように対物レンズ16を移動させる。

【0021】一方、透明基板の厚さが $t 2$ ($t 1 < t 2$) である第2光ディスクを再生する場合、第2半導体レーザ112からビームを出射し、出射された光束は合成手段19により光路を変更され、その後、偏光ビームスプリッタ12、コリメータレンズ13、1/4波長板14、絞り17、対物レンズ16を介して第2光ディスク20上に集光される。そして、情報記録面22で情報ビットにより変調されて反射した光束は、再び対物レンズ16、1/4波長板14、コリメータレンズ13、偏光ビームスプリッタ12、シリンドリカルレンズ18を介して光検出器30に入射し、光検出器30から出力される信号を用いて第2光ディスク20に記録された情報の読み取り (再生) 信号が得られる。また、光検出器30上でのスポットの形状変化による光量分布変化を検出して、合焦検出やトラック検出を行う。この検出に基づいて2次元アクチュエータ15が半導体レーザ111からの光を第2光ディスク20の情報記録面22上にデフォーカス状態で結像するように対物レンズ16を移動させるとともに、半導体レーザ111からの光を所定のトラックに結像するように対物レンズ16を移動させる。第1光ディスク、第2光ディスクに情報を記録する際も、ほぼ同様の動作をする。

【0022】このような光ピックアップ装置10において、透明基板の厚さが $t 1$ の第1光ディスク、例えばDVD ($t 1 = 0.6 \text{ mm}$ 、透明基板の屈折率1.58) を再生する際には、ビームスポットが最小錯乱円を形成するよう (ベストフォーカス) に対物レンズ16を2次元アクチュエータ15により駆動する。この対物レンズ16を用いて、透明基板の厚さが $t 1$ と異なる $t 2$ (t

13

2>t1)で記録密度が第1光ディスクよりも低い第2光ディスク、例えばCD(t2=1.2mm、透明基板の屈折率1.58)を再生する際には、透明基板の厚さが異なる(好ましくは大きくなる)ことで球面収差が発生し、ビームスポットが最小錯乱円となる位置(近軸焦点位置より後方の位置)では、スポットサイズが大きく第2光ディスクのビット(情報)を読む(再生する)ことはできない。しかしながら、この最小錯乱円となる位置より対物レンズ16に近い前側位置(前ピン)では、スポット全体の大きさは最小錯乱円よりも大きい、中央部に光量が集中した核と核の周囲に不要光であるフレアとが形成される。この核を第2光ディスクのビット(情報)を再生する(読む)ために利用し、第2光ディスク再生時には、対物レンズ16をデフォーカス(前ピン)状態になるように2次元アクチュエータ15を駆動する。

【0023】次に、上述したような透明基板の厚さが異なる第1光ディスクと第2光ディスクを1つの集光光学系で再生するために、光ピックアップ装置10の集光光学系の1つである対物レンズ16に本発明を適用した実施例を説明する。図2は、対物レンズ16を模式的に示した断面図(a)及び光源側から見た正面図(b)である。なお、一点鎖線は光軸を示している。なお、本実施例では、第1光ディスクの透明基板の厚さt1は、第2光ディスクの透明基板の厚さt2より薄く、第1光ディスクの方が第2光ディスクよりも高密度で情報が記録されている。

【0024】本実施例において、対物レンズ16は、光源側の屈折面S1及び光ディスク20側の屈折面S2は共に非球面形状を呈した正の屈折力を有する凸レンズである。また、対物レンズ16の光源側の屈折面S1は、光軸と同心状に複数(本実施例では3つ)の第1分割面Sd1~第3分割面Sd3から構成されている。分割面Sd1~Sd3の境界は段差を設けて、それぞれの分割面Sd1~Sd3を形成している。この対物レンズ16において、光軸を含む第1分割面Sd1を通過する光束(第1光束)は第1光ディスクに記録された情報の再生及び第2光ディスクに記録された情報の再生に利用し、第1分割面Sd1より外側の第2分割面Sd2を通過する光束(第2光束)は主に第2光ディスクに記録された情報の再生に利用し、第2分割面Sd2より外側の第3分割面Sd3を通過する光束(第3光束)は主に第1光ディスクに記録された情報の再生に利用するような形状となっている。

【0025】ここで、「主に」という文言の意味は、第2分割面Sd2を通過する光束の場合、第3分割面Sd3を通過する光束を遮光しない状態においてビームスポットの中心強度が最大となる位置での核部分のエネルギーに対して、第3分割面Sd3を通過する光束を遮光した状態においてビームスポットの中心強度が最大となる

14

位置での核部分のエネルギー比率(「遮光状態核エネルギー」/「遮光しない核エネルギー」)が、60%~100%の範囲に入ること、また、第3分割面Sd3を通過する光束の場合も同様に、第2分割面Sd2を遮光しない状態に対する遮光した状態の核部分のエネルギー比率(「遮光状態核エネルギー」/「遮光しない核エネルギー」)が、60%~100%の範囲に入ること、また、このエネルギー比率を簡易的に測定するには、各々の場合において、ビームスポットの中心強度が最大となる位置でのピーク強度Ipと、ビーム径Dp(中心強度に対して強度がe⁻²となる位置で定める)を測定し、核部分のビームの形状はほぼ一定であることから、Ip×Dpを求め、これを比較すればよい。

【0026】このように、光源から出射される光束を、集光光学系の光軸近傍の第1光束を第1光ディスクの再生及び第2光ディスクの再生に利用し、第1光束より外側の第2光束を主に第2光ディスクの再生に利用し、第2光束より外側の第3光束を主に第1光ディスクの再生に利用することにより、光源からの光を光量損失を抑えつつ、1つの集光光学系で複数(本実施例では2つ)の光ディスクの再生が可能となる。しかも、この場合第2光ディスクの再生時には第3光束の大部分は不要光であるが、この不要光が第2光ディスクの再生には利用されない、絞リ17を第1光ディスクの再生に必要な開口数にしておくだけで、絞リ17の開口数を変える手段を何ら必要とせずに再生することができる。

【0027】さらに詳述すると、本実施例における対物レンズ16は、第1光ディスクを再生する際には(図2(a)参照)第1分割面Sd1及び第3分割面Sd3を通過する第1光束及び第3光束(斜線で示される光束)は、ほぼ同一の第1結像位置に結像し、その波面収差(第2分割面Sd2を通過する第2光束を除いた波面収差)は、0.07λ1rms以下、好ましくは0.05λ1rms以下となっている。ここで、λ1は光源の波長である。

【0028】また、このとき、第2分割面Sd2を通過する第2光束(破線で示される光束)は、第1結像位置とは異なった第2結像位置に結像する。この第2結像位置は、第1結像位置を0(零)としてそれより対物レンズ16側を負、その反対側を正とすると、第1結像位置から-40μm以上-4μm以下、好ましくは-27μm以上-4μm以下の距離にする(第2結像位置を第1結像位置より対物レンズに近づける)。これにより、主に第1光束及び第3光束で第1光ディスクの再生が行われる。なお、この下限(-40μm)を越えると、球面収差の補正のし過ぎとなり、第1光ディスクの再生時のスポット形状が悪くなり、また、上限(-4μm)を越えると、第2光ディスクの再生時のスポット径・サイドローブが大きくなる。なお、本実施例では、t1<t

2、 $NA1 > NA2$ であるので、第2結像位置を第1結像位置から $-40\mu m \sim -4\mu m$ 、好ましくは $-27\mu m \sim -4\mu m$ としたが、 $t1 > t2$ 、 $NA1 > NA2$ の場合は、第2結像位置を第1結像位置から $4\mu m \sim 40\mu m$ 、好ましくは $4\mu m \sim 27\mu m$ にする。すなわち、第1結像位置と第2結像位置との距離の絶対値は、 $4\mu m \sim 40\mu m$ 、好ましくは $4\mu m \sim 27\mu m$ 以下の範囲内になるようにする。

【0029】また、上述の対物レンズ16を所定の厚さ($t2 = 1.2mm$)の透明基板を有する第2光ディスクの再生に使用する際には、図3に示すように、対物レンズ16に入射する所定の光束(平行光束)の場合、第1光束(右肩上がりの斜線で示す。)のうち光軸近傍を通過する光線が光軸と交わる位置と、光軸と直交する方向で第1分割面Sd1の端部(第2分割面Sd2側)を通過する光線が光軸と交わる位置との間に、第2光束(左肩下がりの斜線で示す。)の光線が光軸と交わる(結像する)ようになる。よって、第1光束及び第2光束は、第2光ディスクの情報記録面近傍に集光され、第2光ディスクの再生が行われる。このとき、第3光束(途中まで破線で示される)はフレアとして発生するが、第1光束及び第2光束で形成される核により第2光ディスクの再生が可能となる。

【0030】換言すると、本発明は、開口数の小さい光軸近傍を通過する第1光束を、再生できる全ての光ディスクの再生に利用し、また、第1分割面より外側を通過する光束を再生する各光ディスクに対応するように分け、分けられた各光束を各光ディスク(本実施例では第1、第2光ディスク)の再生に利用する。このとき、光ディスクの情報を再生するために必要な開口数が多い方の光ディスク(本実施例では第1光ディスク)の再生に利用する光束は、分けられた光束のうち第1光束より離れた光束(本実施例では第3光束)とする。

【0031】このような集光光学系(本実施例においては対物レンズ16)を用いると、透明基板の厚さが異なる複数の光ディスクを1つの集光光学系で再生することが可能となり、また、任意に面を設定できることにより、第2光ディスクの再生に必要な開口数 $NA2$ を大きくすることができる。また、光軸近傍の光束(第1光束)を複数の光ディスクの再生に利用することで、光源からの光束の光量損失が少なくなる。しかも、第2光ディスク再生時には、ビームスポットのサイドローブを減少させ、ビーム強度の強い核を形成し、正確な情報が得られる。さらに、絞り17の開口数を変更する特別な手段を必要とせずに複数の光ディスクを1つの集光光学系で再生することができる。

【0032】また、本実施例では、光軸と直交する方向で第2分割面Sd2中央位置(図2(a)参照)で見たとき、開口数 NAL から開口数 NAH までの面である第2分割面Sd2の法線と光軸とのなす角度が、光軸から

開口数 NAL までの面である第1分割面Sd1及び開口数 NAH から開口数 $NA1$ までの面である第3分割面Sd3から内挿される面(後述する数1の非球面の式を用いて最小自乗法でフィッティングを行った非球面)の法線と光軸とのなす角度より大きくする。これにより第1光ディスク及び第2光ディスクの両方を良好に再生することが可能となる。なお、本実施例では、 $t2 > t1$ 、 $NA1 > NA2$ であるので、第2分割面Sd2の法線と光軸とのなす角度が、第1、3分割面Sd1、Sd3から内挿される面の法線と光軸とのなす角度より大としたが、 $t2 < t1$ 、 $NA1 > NA2$ の場合は、小とすればよい。

【0033】またさらに、本実施例では、光軸と直交する方向で第2分割面Sd2のほぼ中央位置(図2(a)参照)で見たとき、第2分割面Sd2の法線と光軸とのなす角度と、第1分割面Sd1及び第3分割面Sd3から内挿される面(後述する数1の非球面の式を用いて最小自乗法でフィッティングを行った非球面)の法線と光軸とのなす角度との差が、 0.02° 以上 1° 以下の範囲となるように、第1分割面Sd1～第3分割面Sd3を設定することが好ましい。この下限を越すと第2光ディスクの再生時のスポット形状が悪化し、サイドローブ、スポット径が大きくなり、上限を越すと球面収差の補正し過ぎとなり第1光ディスク再生時のスポット形状が悪化する。

【0034】また、別の観点から本実施例を捕らえると、少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面(本実施例では3つの分割面)を有する対物レンズ16において、第2分割面Sd2より光軸側の第1分割面Sd1を透過した光と、第2分割面Sd2に対し光軸側とは反対側の第3分割面Sd3を透過した光とが、所定の厚さ(第1光ディスク)の透明基板を介して、ほぼ同じ位相となるようにしたとき、第1分割面Sd1を透過し透明基板を介した光と、光軸に直交する方向において第2分割面Sd2のほぼ中央位置(図2(a)参照)より光軸側の第2分割面Sd2を透過し透明基板を介した光との位相差を $(\Delta 1L)\pi$ (rad)とし、第3分割面Sd3を透過し透明基板を介した光と、上記中央位置より光軸側とは反対側の第2分割面Sd2を透過し透明基板を介した光との位相差を $(\Delta 1H)\pi$ (rad)とすると、 $(\Delta 1H) > (\Delta 1L)$ を満足する。なお、この場合、位相差の符号は、光の進行方向(光ディスクへ向かう方向)を正とし、第1分割面Sd1あるいは第3分割面Sd3を透過し透明基板を介した光に対する第2分割面Sd2を透過し透明基板を介した光の位相差を比較する。なお、本実施例では $t1 < t2$ 、 $NA1 > NA2$ であるので、 $(\Delta 1H) > (\Delta 1L)$ としたが、 $t1 > t2$ 、 $NA1 > NA2$ の場合は、 $(\Delta 1H) < (\Delta 1L)$ とする。したがって、 $(\Delta 1H) \neq (\Delta 1L)$ とする。

【0035】これを別な観点からいえば、第1分割面S d 1と第2分割面S d 2との境界における第1分割面S d 1からの段差量より、第3分割面S d 3と第2分割面S d 2との境界における第3分割面S d 3からの段差量の方が、大きい(段差量の符号は、分割面を境にして屈折率が小から大に変化する方向を正とする。なお、以下段差量の符号の場合は同様にする)。この場合も上述と同様に、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、上記の関係は逆、すなわち、2分割面S d 2の第1分割面S d 1からの段差量より、第2分割面S d 2の第3分割面S d 3からの段差量の方が小さくなる。さらに、光軸から所定の位置において、第1分割面S d 1と第3分割面S d 3とから内挿される面の位置と、第2分割面S d 2の位置との差が、第2分割面S d 2のほぼ中央位置を中心として非対称になっていることが好ましい。さらに、この場合、光軸から離れるに従いその差が大きくなることが好ましい。

【0036】なお、本実施例では、分割面S d 1～S d 3を対物レンズ16の光源側の屈折面S 1に設けたが、光ディスク20側の屈折面に設けてもよく、また、他の集光光学系の光学素子(例えば、コリメータレンズ13など)の1つにこのような機能を持たせてもよく、さらに、新たにこのような機能を有する光学素子を光路上に設けてもよい。また、各分割面S d 1～S d 3の機能を異なる光学素子に分解して設けてもよい。

【0037】また、本実施例では、コリメータレンズ13を用いた、いわゆる無限系の対物レンズ16を用いたが、コリメータレンズ13がなく光源からの発散光が直接又は発散光の発散度合いを減じるレンズを介した発散光が入射するような対物レンズや、光源からの光束を収れん光に変えるカップリングレンズを用い、その収れん光が入射するような対物レンズに適用してもよい。

【0038】また、本実施例では、第1分割面S d 1～第3分割面S d 3の境界に段差を設けたが、少なくとも一方の境界を段差を設けずに連続的に分割面を形成してもよい。また、分割面と分割面との境界は、境界を屈曲させることなく、例えば所定の曲率半径Rの面で接続させてもよい。この曲率半径Rは意図的に設けたものであっても良く、また、意図的に設けたものでもなくとも良い。(この意図的に設けたものではない例として、対物レンズ16をプラスチック等で成形するとき形成される境界のRがある。)

【0039】また、本実施例では、屈折面S 1を3つの分割面S d 1～S d 3で構成したが、これに限られず、少なくとも3つ以上の分割面で構成してもよい。この場合、光軸近傍には第1光ディスク及び第2光ディスクの再生に利用する第1分割面を設け、この第1分割面より外側(光軸から離れる方向)の分割面は、主に第2光ディスクの再生に利用する分割面と主に第1光ディスクの再生に利用する分割面とを交互に設けることが好まし

い。また、この場合、 $0.60(NA_2) < NA_3 < 1.3(NA_2)$ 、 $0.01 < NA_4 - NA_3 < 0.1$ の条件を満足する対物レンズ16の光ディスク側の開口数NA 3と開口数NA 4の間に、主に第2光ディスクの再生に利用する分割面を設けることが好ましい。これにより、第1光ディスクに集光させる光スポットの強度を落とすことなく、第2光ディスクとしてより大きな必要開口数の光ディスクを再生することができる。さらに、NA 3の上限は $NA_3 < 1.1(NA_2)$ であることが実用上好ましく、またNA 3の下限は $0.80(NA_2) < NA_3$ が好ましく、さらに $0.85(NA_2) < NA_3$ であることが実用上好ましい。また、 $NA_4 - NA_3$ の上限は、 $NA_4 - NA_3 < 0.1$ であることが好ましい。

【0040】また、本実施例では、光源側から対物レンズ16を見たときに、第2分割面S d 2を光軸と同心円状の環形状で設けたが、これに限られず、途切れた環状で設けてもよい。また、第2分割面S d 2をホログラムやフレネルで構成してもよい。なお、第2分割面S d 2をホログラムで構成した場合、0次光と1次光とに分けた光束の一方を第1光ディスクの再生に利用し、他方を第2光ディスクの再生に利用する。このとき、第2光ディスクの再生に利用する光束の光量の方が、第1光ディスクの再生に利用する光束の光量より大きいことが好ましい。

【0041】また、本実施例において、第1光ディスクを再生する際(すなわち、厚さ t_1 の透明基板を介したとき)第1分割面S d 1およびS d 3を通過する光束による最良波面収差が $0.07\lambda_1 \text{ rms}$ 、好ましくは $0.05\lambda_1 \text{ rms}$ (ただし $\lambda_1(\text{nm})$ は第1光ディスクを再生する際に使用する光源の波長)を満たすだけでなく、さらに、第2光ディスクを再生する際(すなわち、厚さ t_2 の透明基板を介したとき)第1分割面S d 1を通過する光束による最良波面収差が回折限界である $0.07\lambda_2 \text{ rms}$ 、好ましくは $0.05\lambda_2 \text{ rms}$ (ただし、 $\lambda_2(\text{nm})$ は第2光ディスクを再生する際に使用する光源の波長)を満たすことにより、第2光ディスクの再生信号を良好にすることができる。

【0042】次に、別の観点から、対物レンズ16の球面収差図を模式的に示した図である図4に基づいて説明する。図4において、(a)は第1光ディスクを再生、すなわち、厚さ t_1 の透明基板を介したときの球面収差図であり、(b)は第2光ディスクを再生、すなわち、厚さ t_2 (本実施例では $t_2 > t_1$)の透明基板を介したときの球面収差図である、ここで、第1光ディスクの情報を再生するために必要な集光光学系の光ディスク側の必要開口数をNA 1、第2光ディスクの情報を再生するために必要な集光光学系の光ディスク側の必要開口数をNA 2(ただし、 $NA_2 > NA_1$)、対物レンズ16の分割面S d 1とS d 2との境界を通過する光束の光デ

ディスク側の開口数を NA_L 、対物レンズ16の分割面 S_{d1} と S_{d2} との境界を通過する光束の光ディスク側の開口数を NA_L とする。

【0043】対物レンズ16は、まず、透明基板の厚さが t_1 の第1光ディスクに集光させた光束の最良波面収差が $0.07\lambda_{rms}$ 以下、好ましくは $0.05\lambda_{rms}$ 以下となるように第1屈折面 S_1 の第1非球面と第2屈折面 S_2 （共通屈折面）を設計する。この設計により得られたレンズの球面収差図が図4（c）である。そして、この第1非球面を有するレンズを介して透明基板の厚さが t_2 （ $t_2 \neq t_1$ ）の第2光ディスクに集光させた時の球面収差（図4（e）この場合、 $t_2 > t_1$ ）の発生量よりも、少ない球面収差となるように第2屈折面 S_2 （共通屈折面）はそのまま第1屈折面の第2非球面を設計する。このとき、第2非球面の近軸曲率半径と第1非球面の近軸曲率半径とは同じにすることが、デフォーカス状態で再生を行う第2光ディスクの再生を良好に行うために好ましい。この設計により得られたレンズの第2光ディスクに集光させた時の球面収差図が図4

（f）であり、また、このレンズで第1光ディスクに集光させたときのレンズの収差図が図4（d）である。そして、この第1非球面の第2光ディスクの必要開口数 NA_2 近傍で、第2非球面を合成する。ここで、第2非球面を合成する必要開口数 NA_2 近傍とは、 $0.60 (NA_2) < NA_3 < 1.3 (NA_2)$ の条件（この下限 $0.60 (NA_2)$ は実用上、 $0.80 (NA_2)$ が好ましく、さらに $0.85 (NA_2)$ であることが好ましい。また、この上限 $1.3 (NA_2)$ は実用上 1.1

（ NA_2 ）であることが好ましい。）を満足するとともに、 $0.01 < NA_4 - NA_3 < 0.12$ （好ましくは、 0.1 ）の条件を満足する対物レンズ16の光ディスク側の開口数 NA_3 と開口数 NA_4 の間であることが好ましい。この合成した第2非球面（第2分割面）で光軸に近い側を開口数 NA_L とし、遠い側を NA_H （すなわち、 $NA_L < NA_H$ ）とする。

【0044】したがって、この対物レンズ16の屈折面 S_1 における面形状としては、光軸を含む第1分割面 S_{d1} と第1分割面 S_{d1} より外側の第3分割面 S_{d3} とは同じ非球面形状（第1非球面）となり、その第1分割面 S_{d1} と第3分割面 S_{d3} との間（第2光ディスクの再生に必要な開口数 NA_2 近傍、すなわち、 $NA_L \sim NA_H$ ）の第2分割面 S_{d2} は、第1分割面 S_{d1} 及び第3分割面 S_{d3} とは異なる非球面形状（第2非球面）となる。得られたレンズが本実施例の対物レンズ16となり、この対物レンズ16を用いて第1光ディスクに集光させたときの球面収差図は図4（a）となり、第2光ディスクに集光させたときの球面収差図は図4（b）となる。

【0045】なお、第1非球面と第2非球面を合成する場合、第2分割面 S_{d2} を光軸方向にずらして合成し

て、位相差を利用することにより、第1光ディスク再生時の集光光量のアップを図ることができる。

【0046】上述したように、本実施例において得られた対物レンズ16は、開口数 NA_2 の近傍の少なくとも2つの開口位置（ NA_L と NA_H ）で、透明基板の厚さが異なる複数の光ディスクを1つの集光光学系で再生できるように、球面収差が不連続に変化するように構成している。このように球面収差が不連続に変化するようにしたので、各々の開口数の範囲（本実施例では、光軸 $\sim NA_L$ の第1分割面、 NA_L から NA_H の第2分割面、 $NA_H \sim NA_1$ の第3分割面）を通過する光束（本実施例では第1光束 \sim 第3光束）を任意に構成することができ、第1光束を再生する複数の光ディスク全ての再生に利用し、第2光束及び第3光束をそれぞれ複数の光ディスクのうち所定の光ディスクの再生に利用することが可能となり、1つの集光光学系（本実施例では対物レンズ16）で複数の光ディスクを再生でき、低コストかつ複雑化しないで実現でき、さらに、高 NA の光ディスクにも対応できる、しかも、絞り17は、高 NA である NA_1 に対応するように設けるだけでよく、光ディスク再生に必要な開口数（ NA_1 あるいは NA_2 に）が変化したとしても、絞り17を変化させる手段を何ら設ける必要もない。なお、本発明でいう「球面収差が不連続に変化する」とは、球面収差図で見たときに急激な球面収差の変化が見られることをいう。

【0047】さらに、球面収差の不連続に変化する方向は、小さい開口数から大きい開口数へと見たときに、開口数 NA_L では球面収差が負の方向に、開口数 NA_H では球面収差が正の方向になっている。これにより、薄い透明基板の厚さ t_1 の光ディスクの再生が良好になるとともに、これより厚い透明基板の厚さ t_2 の光ディスクの再生を良好に行うことができる。なお、本実施例では $t_2 > t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるために、上述したように球面収差は、開口数 NA_L では負の方向に、開口数 NA_H では正の方向に不連続に変化するが、 $t_2 < t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、開口数 NA_L では正の方向に、開口数 NA_H では負の方向に球面収差が不連続に変化することになる。

【0048】さらに、透明基板の厚さ t_2 の第2光ディスクを再生する際には、開口数 NA_L から開口数 NA_H までの間の球面収差（第2分割面 S_{d2} を通過する光束による球面収差）が正となるようにすることにより、光ピックアップ装置10のS字特性が向上する。なお、本実施例では $t_2 > t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ であるために、開口数 NA_L から開口数 NA_H までの間の球面収差が正となるようにしたが、 $t_2 < t_1$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、負とするとよい。

【0049】さらに、厚さ t_1 の透明基板を介した際（図4（a）参照）に、開口数が NA_1 の中で、 $NA_L \sim NA_H$ の間を通過する光束を除いた。すなわち、光軸

～NALおよびNAH～NA1を通過する波面収差が0.07λ1rms、好ましくは0.05λ1rms以下（ただし、λ1は光源の波長）とすることにより、透明基板の厚さがt1の第1光ディスクの再生が良好になる。

【0050】またt1=0.6mm、t2=1.2mm、610nm<λ1<670nm、740nm<λ2<870nm、0.40<NA2<0.51としたとき、0.60(NA2)<NAL<1.3(NA2)の条件（この下限0.60(NA2)は実用上、0.80(NA2)が好ましく、さらに0.85(NA2)であることが好ましい。また、上限は1.1(NA2)であることが好ましい。）を満たすことが好ましい。この下限を越すとサイドローブが大きくなり情報の正確な再生ができず、上限を越すと波長λ2とNA2において想定される回折限界スポット径以上に絞られすぎる。なお、ここでいうNALは第2光源112を用いたときの第2分割面Sd2上でのNALを指す。

【0051】また、0.01<NAH-NAL<0.12（この上限0.12は、実用上、0.1であることが更に好ましい）の条件を満たすことが好ましい。この下限を越すと第2光ディスクの再生時のスポット形状が悪化し、サイドローブ・スポット径が大きくなり、上限を越すと第1光ディスクの再生時のスポット形状が乱れ、光量低下を引き起こす。なお、ここでいうNALおよびNAHは、第2光源112を用いたときの第2分割面Sd2上でのNALおよびNAHを指す。

【0052】また、第2光ディスクの再生時（t2の厚さの透明基板を介した際）に、開口数NALから開口数NAHの間の球面収差が、 $-2(\lambda 2) / (NA 2)^2$ 以上、 $(5(\lambda 2)) / (NA 2)^2$ 以下の条件を満たすことが好ましい。さらに、この条件は、再生の場合は $3(\lambda 2) / (NA 2)^2$ 以下が好ましく、あるいは、記録をも考慮すると（勿論、再生もできる）0（等）より大きいことが好ましい。この下限を越すと球面収差の補正し過ぎとなり第1光ディスク再生時のスポット形状が悪化し、上限を越すと第2光ディスクの再生時のスポット形状が悪化し、サイドローブ・スポット径が大きくなる。特に、この条件は、 $0 \sim 2(\lambda 2) / (NA 2)^2$ の範囲を満足することが更に好ましく、この場合、フォーカスエラー信号が良好に得られる。

【0053】また、別な観点から云うと、0.60(NA2)<NA3<1.3(NA2)の条件（この下限0.60(NA2)は実用上0.80(NA2)が好ましく、さらに、0.85(NA2)であることが好ましい。また上限は1.1(NA2)であることが好ましい。）を満足すると共に、0.01<NA4-NA3<0.12（好ましくは、0.1）の条件を満足する対物レンズ16の光ディスク側の開口数NA3と開口数NA4の間に、前述したNALとNAHとを設ける（すなわ

ち、主に第2光ディスクの再生に利用する分割面を設ける）ことである。これにより、第1光ディスクに集光させる光スポットの強度を落とすことなく、第2光ディスクとしてより大きな必要開口数の光ディスクを再生することができる。

【0054】またさらに、実施例の対物レンズ16は、開口数がNA2近傍の少なくとも2つの開口位置（NALおよびNAH）に対応する対物レンズ16の屈折面S1の円周位置で、該屈折面の法線と光軸とがなす角度が0.05度以上0.50度未満に変化することが好ましい。この下限を越すと第2光ディスクの再生時のスポット形状が悪化し、サイドローブ・スポット径が大きくなり、上限を越すと球面収差の補正し過ぎとなり第1光ディスク再生時のスポット形状が悪化する。

【0055】特に、t2>t1、NA1>NA2で、光軸から円周方向へとみたとき、開口数NALでは、屈折面の法線と光軸との交点が、光源側の屈折面に近づく方向に不連続に変化し、開口数NAHでは、屈折面の法線と光軸との交点が、光源側の屈折面から遠く方向に不連続に変化している。これにより、薄い透明基板の厚さt1の光ディスクの再生が良好になるとともに、これより厚い透明基板の厚さt2の光ディスクの再生を良好に行うことができる。

【0056】また、本実施例の対物レンズ16の波面収差は図5に示す。図5は縦軸に波面収差(λ)、横軸に開口数をとった波面収差曲線であり、(a)は第1光ディスクの透明基板（厚さt1）を介したときを、(b)は第2光ディスクの透明基板（厚さt2）を介したときの波面収差曲線を実線で表している。なお、この波面収差曲線は、それぞれの透明基板を介したときに最良の波面収差となる状態で干渉計などを用いて波面収差を測定して得る。

【0057】図から分かるように、本実施例の対物レンズ16は、波面収差曲線でみると、開口数NA2近傍の2カ所（具体的には、NALとNAH）で波面収差が不連続となっている。また、不連続となっている部分に発生する最大の波面収差の不連続量は、長さの単位(mm)で表すと、0.05(NA2)²(mm)以下、位相差の単位(rad)で表すと、 $2\pi(0.05(NA2)^2)/\lambda$ (rad)以下（ただし、この場合λは使用波長で単位はmm）とすることが望ましい。これ以上では、波長変動による波面収差の変動が大きくなり、半導体レーザの波長のバラツキを吸収できなくなる。さらに、この不連続の部分（NALとNAHと間）の波面収差の傾きは、不連続となっている部分の両側の曲線の端部（NALに最も近い端部とNAHに最も近い端部）を結ぶ曲線（図5(a)の破線）の傾きは、異なる傾きとなっている。

【0058】なお、分割面Sd1～Sd3を対物レンズ16の屈折面S1に設けること、無限系の対物レンズを

用いること、分割面に段差を設けること、分割面の数、第2分割面の面形状など、本実施例の内容に限られるものではない。また、本実施例では、第1光源111と第2光源112とを合成手段19により合成するようにしたが、これに限られず、図1に示した光ピックアップ装置において光源11を第1光源111と第2光源112とに切り替えるようにしてもよい。

【0059】なお、この実施例における対物レンズ16においては、本出願人が誤って上述した第1（又は2）の実施例に示す光ピックアップ装置に用いたところ、第1光ディスクとしてDVDの再生は勿論のこと、驚くべきことに、同じ波長の光源で第2光ディスクとしてCDの再生もできた。すなわち、本実施例の対物レンズ16は、波長 λ_1 の光源を用いて透明基板の厚さが t_1 の第1光情報記録媒体及び透明基板の厚さが t_2 （ただし、 $t_2 \neq t_1$ ）の第2光情報記録媒体の情報記録面上に集光させることができるとともに、波長 λ_2 （ただし、 $\lambda_2 \neq \lambda_1$ ）の光源を用いた場合であっても第2光情報記録媒体の情報記録面上に集光することができるものである。このことにより、波長の異なる2つの光源を使用しDVDとCD-Rの再生をする光ピックアップ装置（DVD用に波長610nm～670nmの光源とCD-R用に必要な波長780nmの光源に対応）に用いる対物レンズと、1つの光源でDVDやCDの再生をする光ピックアップ装置（波長610nm～670nmの光源に対応）に用いる対物レンズとを共通化することができ、大量生産に伴う低コスト化を実現することができる。なお、このように共通化できるのは、光源の波長が λ_2 から λ_1 に変えたとしても、第1、2の実施例に記載したNALやNAHの条件を満足することが必要である。

【0060】なお、本実施例においては、第1光源111と第2光源112とをほぼ同じ倍率で使用しているので、1つの光検出器30とすることができ、構成を簡単にすることができるが、各々の光源111、112に対応させて2つの光検出器を設けてもよく、さらに倍率を異ならせてもよい。

【0061】さらに他の実施例について、対物レンズ16を模式的に示した図6に基づいて説明する。図6

(a)は対物レンズ16の断面図であり、(b)は光源側から見た正面図である。本実施例は、上述した実施例に記載した光ピックアップ装置に用いられる対物レンズ16の変形例であり、上述した実施例に記載した対物レンズ16の光源側の面を3分割の屈折面としたものであるのに対し、本実施例の対物レンズ16は光源側の面を5分割の屈折面としたものである。なお、本実施例は5分割にした点を除き、他は上述した実施例と同様であるので、説明を省略することもある。

【0062】本実施例において、対物レンズ16は、光源側の屈折面S1及び光ディスク20側の屈折面S2は共に非球面形状を呈した正の屈折力を有した凸レンズで

ある。また、対物レンズ16の光源側の屈折面S1は、光軸と同心状に5つの第1分割面Sd1～第5分割面Sd5、すなわち、光軸を含む（光軸近傍の）第1分割面（Sd1）より光軸から離れる方向に順に第2分割面Sd2・・・第2n+1（ただし、nは自然数であり、本実施例では $n=2$ である）分割面Sd（2n+1）面で構成している。分割面Sd1～Sd5の境界は段差を設けてそれぞれの分割面Sd1～Sd5を形成している。この対物レンズ16において、光軸を含む第1分割面Sd1を通過する光束（第1光束）は第1光ディスクに記録された情報の再生及び第2光ディスクに記録された情報の再生に利用し、第2n分割面Sd2n（本実施例では、第2分割面Sd2と第4分割面Sd4）を通過する光束は主に第2光ディスクに記録された情報の再生に利用し、第2n+1分割面Sd2n+1（本実施例では、第3分割面Sd3と第5分割面Sd5）を通過する光束は主に第1光ディスクに記録された情報の再生に利用するような形状となっている。

【0063】このように、本実施例では分割面の数を増やすことにより、第2n分割面を高NA側に配置することができるため、高NAが必要な第1の光ディスクの再生のみならず、第2の光ディスクとして、上述した第1～第3の実施例と比べて更に高NAの光ディスクの再生を行うことができる。しかも、第2n分割面を高NA側に配置したことに伴う第1光ディスク再生時の光量低下を第2n-1分割面（ただし、第1分割面は関係ない）で補うことができ、第1光ディスクのみならず第2光ディスクも良好に再生することができる。

【0064】具体的に、この対物レンズ16は、まず、透明基板の厚さが t_1 の第1光ディスクに集光させた光束の最良波面収差が $0.05\lambda_1 \text{ rms}$ 以下となるように第1屈折面S1の第1非球面と第2屈折面S2（共通屈折面）を設計する。そして、この第1非球面を有するレンズを介して透明基板の厚さが t_2 （ $t_2 \neq t_1$ ）の第2光ディスクに集光させた時の球面収差の発生量よりも、少ない球面収差となるように第2屈折面S2（共通屈折面）はそのまま第1屈折面の第2非球面を設計する。このとき、第2非球面の近軸曲率半径と第1非球面の近軸曲率半径とは同じにすることが、デフォーカス状態で再生を行う第2光ディスクの再生を良好に行うために好ましい。この第1非球面の第2光ディスクの必要開口数NA2近傍の2カ所であるNAL～NAHに、第2非球面を合成する。このようにして得られたレンズが本実施例の対物レンズ16となる。

【0065】なお、合成する場合、第2分割面Sd2と第4分割面Sd4とを光軸方向にずらして合成して、位相差を利用することにより、第1光ディスク再生時の集光光量のアップを図ることができる。また、第2分割面Sd2と第4分割面Sd4とを同じ第2非球面としたが、これらが互いに異なる非球面を用いてもよく、ま

た、光軸方向にずらす量も各々変えてもよい。

【0066】ここで、第2非球面を合成するNA2近傍とは、 $0.60(NA2) < NA3 < 1.3(NA2)$ の条件（この下限 $0.60(NA2)$ は実用上、 $0.80(NA2)$ が好ましく、さらに $0.85(NA2)$ であることが好ましく、また、この上限 $1.3(NA2)$ は実用上 $1.1(NA2)$ であることが好ましい。また、この上限 $1.3(NA2)$ は、第2光ディスク情報記録媒体へ記録又は再生する際の光源の波長が $740\text{nm} \sim 870\text{nm}$ である場合、 $1.1(NA2)$ とする）を満たすとともに、 $0.01 < NA4 - NA3 < 0.12$ （この上限 0.12 は、実用上、 0.1 であることが更に好ましい）の条件を満たす、対物レンズ16の光ディスク側の開口数NA3とNA4との間であることが好ましい。

【0067】このような本実施例の場合、第1の実施例と同様に、第1の光ディスクである透明基板の厚さ t_1 が 0.6mm のDVDを再生する際には、第1分割面Sd1及び第3分割面Sd3、第5分割面Sd5を通過する光束は、ほぼ同一の第1結像位置に結像し、その波面収差（第2分割面Sd2及び第4分割面Sd4を通過する光束を除いた波面収差）は、 $0.05\lambda_{1\text{rms}}$ 以下となっている。ここで、 λ_1 は光源の波長である。

【0068】このとき、第2分割面Sd2および第4分割面Sd4を通過する光束は、第1結像位置とは異なった第2結像位置に結像する。この第2結像位置は、第1結像位置を0（零）としてそれより対物レンズ16側を負、その反対側を正とすると、第1結像位置から $-40\mu\text{m}$ 以上 $-4\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $-27\mu\text{m}$ 以上 $-4\mu\text{m}$ 以下の距離にする。なお、本実施例では、 $t_1 < t_2$ 、 $NA1 > NA2$ であるので、第2結像位置を第1結像位置から $-40\mu\text{m} \sim -4\mu\text{m}$ 、好ましくは $-27\mu\text{m} \sim -4\mu\text{m}$ としたが、 $t_1 > t_2$ 、 $NA1 > NA2$ の場合には第2結像位置を第1結像位置から $4\mu\text{m} \sim 40\mu\text{m}$ 、好ましくは $4\mu\text{m} \sim 27\mu\text{m}$ にする。すなわち、第1結像位置と第2結像位置との距離の絶対値は $4\mu\text{m}$ 以上 $40\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $4\mu\text{m}$ 以上 $27\mu\text{m}$ 以下の範囲内になるようにする。

【0069】また、この対物レンズ16を球面収差の観点から見ると、開口数NA2の近傍の4つの開口位置で、透明基板の厚さが異なる複数の光ディスクを1つの集光光学系で再生できるように、球面収差が不連続に変化するように構成している。このように球面収差が不連続に変化（変化の方向は、上述した実施例と同じである）しており、また、波面収差の観点から見ると、開口数NA2近傍の4カ所で波面収差が不連続となり、この不連続の各々の部分の波面収差の傾きは、不連続となっている部分の両側の曲線の端部を結ぶ曲線の傾きは、異なる傾きとなっている。

【0070】このような本実施例の対物レンズ16で

は、第2光ディスクの再生時（ t_2 の厚さの透明基板を介した際）に、開口数NALから開口数NAHの間の球面収差が、 $-2\lambda / (NA2)^2$ 以上、 $5\lambda / (NA2)^2$ 以下の条件を満たすことが好ましい（ただし、このときの λ は、第2光ディスクの再生時に使用する光源の波長である）。さらに、この条件は、再生の場合は $3\lambda / (NA2)^2$ 以下が好ましく、あるいは、記録をも考慮すると（勿論、再生もできる）0（零）より大きいことが好ましい。

【0071】一方、本実施例では、光軸と直交する方向で第2n分割面（第2分割面Sd2あるいは第4分割面）中央位置でみたとき、第2n分割面の法線と光軸とのなす角度が、第（2n-1）分割面（第1分割面Sd1あるいは第3分割面Sd3）及び第（2n+1）分割面（第3分割面Sd3あるいは第5分割面Sd5）から内挿される面の法線と光軸とのなす角度より大きくする。これにより第1光ディスク及び第2光ディスクの双方を良好に再生することが可能となる。なお、本実施例では、 $t_2 > t_1$ 、 $NA1 > NA2$ であるので、第2n分割面の法線と光軸とのなす角度が、第（2n-1）分割面及び第（2n+1）分割面から内挿される面の法線と光軸とのなす角度より大としたが、 $t_2 < t_1$ 、 $NA1 > NA2$ の場合は、小とすればよい。

【0072】また、光軸と直交する方向で第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4である第2n分割面（ただし、nは自然数）のほぼ中央位置でみたとき、第2n分割面の法線と光軸とのなす角度と、第（2n-1）分割面及び第（2n+1）分割面から内挿される面（数1の非球面の式を用いて最小自乗法でフィッティングを行った非球面）の法線と光軸とのなす角度との差が、 0.02° 以上 1° 以下の範囲となるように、第1分割面Sd1～第（2n+1）分割面を設定することが好ましい。

【0073】また、上述した各実施例と同様に、別の観点から本実施例を捕らえると、少なくとも一方の面を光軸と同心状に複数に分割された複数の分割面（本実施例では5つの分割面）を有する対物レンズ16において、第2n分割面（ただし、nは1以上の整数）より光軸側の第（2n-1）分割面を透過した光と、第2n分割面より光軸側とは反対側の第（2n+1）分割面を透過した光とが、所定の厚さ（第1光ディスク）の透明基板を介して、ほぼ同じ位相となるようにしたとき、第（2n-1）分割面（例えば、第1分割面Sd1又は第3分割面Sd3）を透過し透明基板を介した光と、第2n分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）のほぼ中央位置より光軸側の第2n分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）を透過し透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta n L) \pi$ （例えば、 $(\Delta 1 L) \pi$ 又は $(\Delta 2 L) \pi$ ）（rad）とし、第（2n+1）分割面（例えば、第3分割面Sd3又は第5分割面Sd5）を透過し透明基板を介した光と、前記

中央位置より光軸側とは反対側の第2n分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）を透過し透明基板を介した光と、の位相差を $(\Delta nH)\pi$ （例えば、 $(\Delta 1H)\pi$ 又は $(\Delta 2H)\pi$ （rad））とすると、 $(\Delta nH) > (\Delta nL)$ を満足する。この場合も上述と同様に、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、

$(\Delta nH) < (\Delta nL)$ とする。したがって、 $(\Delta nH) \neq (\Delta nL)$ とする。

【0074】これを別な観点から言えば、第2n分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）の第(2n-1)分割面（例えば、第1分割面Sd1又は第3分割面Sd3）からの段差量より、第2n分割面

（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）の第(2n+1)分割面（例えば、第3分割面Sd3又は第5分割面Sd5）からの段差量の方が、大きい。この場合も上述と同様に、 $t_1 > t_2$ 、 $NA_1 > NA_2$ の場合は、第2n分割面の第(2n-1)分割面からの段差量より、第2n分割面の第(2n+1)分割面からの段差量の方が、小さくなる。さらに、光軸から所定の位置において、第(2n-1)分割面と第(2n+1)分割面と（例えば、第1分割面Sd1と第3分割面Sd3と又は第3分割面Sd3と第5分割面Sd5）から内挿される面の位置と、第2n分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）の位置との差が、第2分割面（例えば、第2分割面Sd2又は第4分割面Sd4）のほぼ中央位置を中心として非対称になっていることが好ましい。さらに、この場合、光軸から離れるに従いその差が大きくなることが好ましい。

【0075】なお、本実施例において、対物レンズ16の光源側の屈折面S1を5分割したが、これに限られず、他の集光光学系の光学素子（例えば、コリメータレンズなど）に設けてもよく、あるいは、別途光学素子を設けてもよい。

【0076】また、本実施例では、第1分割面Sd1～第5分割面Sd5の境界に段差を設けたが、少なくとも一つの境界を段差を設けずに連続的に分割面を形成してもよい。また、分割面と分割面との境界は、屈曲させることなく、例えば所定のRで以て接続させてもよい。このRは意図的に設けたものであってもよく、また、意図的に設けたものでなくてもよい（この意図的に設けたものではない例として、対物レンズ16をプラスチック等で形成する場合に、金型を加工する上で形成される境界のRがある）。

【0077】また、本実施例では、光源側から対物レンズ16を見たときに、第2分割面Sd2及び第4分割面Sd4を光軸と同心円状の環形状で設けたが、これに限られず、途切れた環状で設けてもよい。また、第2分割面Sd2又は／及び第4分割面Sd4をホログラムやフレネルで構成してもよい。なお、第2分割面Sd2をホログラムで構成した場合、0次光と1次光とに分けた光

束の一方を第1光ディスクの再生に利用し、他方を第2光ディスクの再生に利用する。このとき、第2光ディスクの再生に利用する光束の光量の方が、第1光ディスクの再生に利用する光束の光量より大きいことが好ましい。

【0078】また、本実施例において、第1光ディスクを再生する際（すなわち、厚さ t_1 の透明基板を介したとき）第1分割面Sd1及び第3分割面Sd3を通過する光束による最良波面収差が0.07 λ 1rms、好ましくは0.05 λ 1rms（ただし、 λ 1（nm）は第1光ディスクを再生する際に使用する光源の波長）を満たすだけでなく、第2光ディスクを再生する際（すなわち、厚さ t_2 の透明基板を介したとき）第1分割面Sd1を通過する光束による最良波面収差が回折限界である0.07 λ 2rms、好ましくは0.05 λ 2rms（ただし、 λ 2（nm）は第2光ディスクを再生する際に使用する光源の波長）を満たすことにより、第2光ディスクの再生信号を良好にすることができる。

【0079】以上、詳述した実施例において、第1分割面を光軸を含む面としたが、光軸上のごく狭い領域の面は集光にはさほど影響を及ぼさないため、そのような集光には影響を与えない光軸上のごく狭い領域の面が平坦となっていたり、突起や凹みとなっていたりもよい。要は、NA2近傍に第2光ディスクの再生に利用する分割面を設ければよく、それより光軸側（すなわち光軸近傍）を第1分割面とすればよい。

【0080】また、以上の説明においては、光ディスクに記録された情報の再生のみについて説明したが、集光光学系（対物レンズ）によって集光する光スポットが重要である点で光ディスクへ情報を記録する場合についても同様であり、以上の実施例は有効に記録にも使えることは言うまでもない。さらに、上述した実施例においては、フォーカスエラー信号のS字特性が良好になるという効果も奏する。

【0081】次に、光情報記録媒体の情報記録面上に形成されるスポットの光強度をできるだけ強くするために、光束の位相をシフトすることに関して、図7を用いて説明する。以下の説明は、上述した分割面を3つ有するレンズの実施例にも、分割面を5つ有するレンズの実施例にも適用可能である。図7（a）は、第1の光源（波長は λ 1）を用いて、第1の光情報記録媒体の読取又は、記録を行う場合であって、横軸に、上述した対物レンズの非球面である第1の表面の第2分割面を非球面形状式にしたがって光軸まで延長したときの光軸との交点と、第2の表面（第1の表面に向かい合う面。非球面であっても、球面であってもよい。）との光軸上の距離 d_i' を取り、縦軸にビームスポットのピーク強度比を取ったグラフである。また、図7（b）は、第2の光源（波長は λ 2）を用いて、第2の光情報記録媒体の読取又は、記録を行う場合であって、横軸に、上述した対物

レンズの第2分割面を非球面形状式にしたがって光軸まで延長したときの光軸との交点と、第2の表面との光軸上の距離 d_i' を取り、縦軸にスポットのピーク強度比を取ったグラフである。

【0082】第1の光情報記録媒体の第1の情報記録面上に集光された第1の光束、即ち第1の情報記録面上のスポットのピーク強度比が、0.9以上となる d_i' の範囲が、図7(a)において矢印で示されている。また、第2の光情報記録媒体の第2の情報記録面上に集光された第2の光束、即ち第2の情報記録面上のスポットのピーク強度比が0.8以上となる d_i' の範囲が、図7(b)において矢印で示されている。図7(a)のグラフにおいて、ピーク強度比が0.9以上となる d_i' の範囲と、図7(b)のグラフにおいて、ピーク強度比が0.8以上となる d_i' の範囲とが重なった d_i' の範囲、すなわち、図7(a)(b)の両方において矢印の重なる範囲の値に d_i' を定めることにより、第1の光情報記録媒体であっても、第2の光情報記録媒体であっても情報記録面上に、光強度の強いスポットを形成することが可能になる。また、光スポットの径のサイズ(最大の中心強度に対して強度が e^{-2} となる位置で定める)を縮めることも可能となる。なお、図7(a)のグラフにおいて、ピーク強度比が0.95以上となる d_i' の範囲と、図7(b)のグラフにおいて、ピーク強度比が0.9以上となる d_i' の範囲とが重なった d_i' の範囲に、 d_i' を定めることがより好ましい。また、 $0 \leq d_i - d_i' \leq 0.003$ を満たすことが好ましい。 d_i は、第1分割面と光軸の交点と、第2の表面との光軸上の距離を示す。

【0083】また、光情報記録媒体の情報記録面上に形成されるスポットの光強度をできるだけ強くするためには、以下の式(1)～(6)を満たすようにしてもよい。

$$W1 - W2 = m\lambda 1 - \delta \quad (1)$$

$$|m| \leq 10 \text{ (} m \text{は} 0 \text{を含む定数)} \quad (2)$$

$$0 \leq \delta < 0.34\lambda 1 \quad (3)$$

$$W3 - W4 = m\lambda 2 - \delta \quad (4)$$

$$|m| \leq 10 \text{ (} m \text{は} 0 \text{を含む整数)} \quad (5)$$

$$0 \leq \delta < 0.34\lambda 2 \quad (6)$$

W1は、上記第1の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが大きい方の波面収差量を示す。W2は、上記第1の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが小さい方の波面収差量を示す。 $\lambda 1$ は上記第1の光束の波長を示す。W3は、上記第2の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが大きい方の波面収差量を示す。W4は、上記第2の光束を用いている際の、上記段差の境界部の開口数NAが小さい方の波面収差量を示す。 $\lambda 2$ は上記第2の光束の波長を示す。

【0084】なお、式(3)、(6)に変えて、以下の

式(3)'、(6)'を満たすことがより好ましい。

$$0 \leq \delta < 0.25\lambda 1 \quad (3)'$$

$$0 \leq \delta < 0.25\lambda 2 \quad (6)'$$

また、式(3)、(6)に変えて、以下の式(3)"、(6)"を満たすようにしてもよい。

$$0 < \delta < 0.34\lambda 1 \quad (3)''$$

$$0 < \delta < 0.34\lambda 2 \quad (6)''$$

なお、W1、W2、W3、W4は、第1分割面と第2分割面の境界において生じる波面収差の段差の境界部における値であることが好ましいが、第2分割面と第3分割面の境界において生じる波面収差の段差の境界部における値であってもよい。W1、W2、W3、W4が、第1分割面と第2分割面の境界において生じる波面収差の段差の境界部における値である場合を、波面収差図を用いて示したのが図8(a)(b)である。なお、第1分割面と第2分割面の境界において生じる波面収差の段差の境界部における値をW1、W2、W3、W4とした場合と、第2分割面と第3分割面の境界において生じる波面収差の段差の境界部における値をW1、W2、W3、W4とした場合の両方において、上記式(1)～(6)を満たすことがより一層好ましい。

【0085】本発明をレンズの観点からとらえると、以下のようなレンズを用いることができる。光ピックアップ装置に用いる非球面を有する対物レンズであって、上記対物レンズは光軸と、非球面である第1の表面と、上記第1の表面に対向する第2の表面を有し、上記第1の表面は、第1分割面と、上記第1分割面より上記光軸から離れている第2分割面と、上記第2分割面より上記光軸から離れている第3分割面を有し、上記第1分割面と上記第3分割面を通った上記第1の光束は、第1の光情報記録媒体に情報を記録および/または第1の光情報記録媒体から再生できる程度に、上記第1の光情報記録媒体の厚さが t_1 である第1の透明基板を通して、上記第1の光情報記録媒体の第1の情報記録面上に集光され、上記第1分割面と上記第2分割面を通った上記第2の光束は、第2の光情報記録媒体に情報を記録および/または第2の光情報記録媒体から再生できる程度に、上記第2の光情報記録媒体の厚さが t_2 ($t_2 > t_1$)である第2の透明基板を通して、前記第2の光情報記録媒体の第2の情報記録面上に集光され、上記第1の情報記録面上に集光された第1の光のピーク強度比が0.9以上となり、上記第2の情報記録面上に集光された第2の光のピーク強度比が0.8以上となるように、上記第2分割面を非球面形状式にしたがって光軸まで延長したときの光軸との交点と、上記第2の表面との光軸上の距離が、定められていることを特徴とする対物レンズ。

【0086】または、次のようなレンズを用いることができる。光ピックアップ装置に用いる非球面を有する対物レンズであって、上記対物レンズは光軸と、非球面である第1の表面と、上記第1の表面に対向する第2の表

面を有し、上記第1の表面は、第1分割面と、上記第1分割面より上記光軸から離れている第2分割面と、上記第2分割面より上記光軸から離れている第3分割面を有し、上記第1分割面を通った上記第1の光束が集光する第1の焦点位置とほぼ同じ位置または同じ位置に、上記第3分割面を通った上記第1の光束が集光される際に、上記第2分割面を通った上記第1の光束は、上記第1の焦点位置よりも、上記対物レンズに近い第2の焦点位置に集光され、上記第1の焦点位置と上記第2の焦点位置の間の距離が $4\mu\text{m}$ 以上 $40\mu\text{m}$ 以下であって、上記第1分割面と上記第2分割面との境界、もしくは、上記第2分割面と上記第3分割面との境界において、波面収差が段差を有しており、上記条件式(1)～(6)を満たすことを特徴とする対物レンズ。

【0087】または、次のようなレンズを用いることができる。光ピックアップ装置に用いる非球面を有する対物レンズであって、上記対物レンズは光軸と、非球面である第1の表面と、上記第1の表面に対向する第2の表面を有し、上記第1の表面は、第1分割面と、上記第1分割面より上記光軸から離れている第2分割面と、上記第2分割面より上記光軸から離れている第3分割面を有し、上記第1分割面を通った上記第1の光束が集光する第1の焦点位置とほぼ同じ位置または同じ位置に、上記第3分割面を通った上記第1の光束が集光される際に、上記第2分割面を通った上記第1の光束は、上記第1の焦点位置よりも、上記対物レンズに近い第2の焦点位置に集光され、上記第1分割面は上記第2分割面に比して出っ張っており、上記第1分割面と上記第2分割面との境界、もしくは、上記第2分割面と上記第3分割面との境界において、波面収差が段差を有しており、上記条件式(1)～(6)を満たすことを特徴とする対物レンズ。

【0088】これらのレンズは、プラスチックレンズであることが好ましいが、ガラスレンズであってもよい。また、対物レンズ以外の光学素子を位相シフト手段として設け、上述の条件を達成するようにしてもよい。ま

非球面データ

| | | | |
|-------|-----|---------------------------------|--------------|
| 第2面 | 第1 | $0 \leq H < 1.279$ | (第1輪帯) |
| (屈折面) | 非球面 | $1.532 \leq H$ | (第3輪帯) |
| | | $\kappa = -0.97700$ | |
| | | $A_1 = 0.63761 \times 10^{-3}$ | $P_1 = 3.0$ |
| | | $A_2 = 0.36688 \times 10^{-3}$ | $P_1 = 4.0$ |
| | | $A_3 = 0.83511 \times 10^{-2}$ | $P_1 = 5.0$ |
| | | $A_4 = -0.37296 \times 10^{-2}$ | $P_1 = 6.0$ |
| | | $A_5 = 0.46548 \times 10^{-3}$ | $P_1 = 8.0$ |
| | | $A_6 = 0.43124 \times 10^{-4}$ | $P_1 = 10.0$ |
| | 第2 | $1.279 \leq H < 1.532$ | (第2輪帯) |
| | 非球面 | $d_2 = 2.1995$ | |
| | | $\kappa = -0.11481 \times 10$ | |
| | | $A_1 = 0.70764 \times 10^{-2}$ | $P_1 = 3.0$ |

た、上述したピックアップ装置を内蔵した光情報記録媒体の記録/再生装置としては、DVD/CDプレーヤー、DVD/CD/CD-Rプレーヤー、DVD/CD/CD-RWプレーヤー、DVD/LDプレーヤー、DVD/DVD-RAM/CD/CD-Rプレーヤーなどを挙げることができる。もちろん、これらに限られるものではない。また、これらの光情報記録媒体の記録/再生装置は、ピックアップ装置の他に、電源や、スピンドルモーターなどを有するものである。

【0089】対物レンズは、図2図示の実施例においてはその光源側の屈折面S1は同心円状に分割された複数の輪帯面Sd1、Sd2、Sd3からなり、各輪帯は、その球面収差を利用して波長の異なる複数の光源、および厚みの異なる透明基板に対して、第1、第3輪帯は短い波長、薄い基板に対して回折限界内に収差補正されており、第2輪帯は長い波長において厚い基板または厚い基板と薄い基板の間の厚さに対して回折限界内に収差補正された特殊対物レンズである。中心部分の第1輪帯、その外側の第2輪帯、最外側の第3輪帯からなる1実施例のデータを下表に、その収差図を図9に示す。

| | | | | | |
|-------------------|----------|-------|--------|--------|--------|
| 波長 λ (nm) | | | 635 | 780 | |
| 焦点距離 (mm) | | | 3.36 | 3.39 | |
| 必要開口数NA | | | 0.60 | 0.45 | |
| 面 | r_i | d_i | d_i' | n_i | n_i' |
| 1 | 2.114 | 2.200 | | 1.5383 | 1.5337 |
| 2 | -7.963 | 1.757 | 1.401 | 1.0 | 1.00 |
| 3 | ∞ | 0.600 | 1.200 | 1.58 | 1.58 |
| 4 | ∞ | | | | |

表中(') が附されているのはCD対応時である。

【0090】図9(a)はDVD対応時の収差補正状況であり、 $NA = 0.45$ 近傍の第2輪帯を除いて回折限界に補正されている。同図(b)はCD対応時であり、第1輪帯はその焦点深度の深さによって、第2輪帯は発生する球面収差によって、CD記録面に回折限界のスポットを形成する。それぞれの輪帯の非球面データは以下のようなものである。

第3面
(屈折面)

$$\begin{aligned}
 A_2 &= -0.13388 \times 10^{-1} & P_1 &= 4.0 \\
 A_3 &= 0.24084 \times 10^{-1} & P_1 &= 5.0 \\
 A_4 &= -0.97636 \times 10^{-2} & P_1 &= 6.0 \\
 A_5 &= 0.93136 \times 10^{-3} & P_1 &= 8.0 \\
 A_6 &= -0.68008 \times 10^{-4} & P_1 &= 10.0 \\
 \kappa &= -0.24914 \times 10^2 \\
 A_1 &= 0.13775 \times 10^{-2} & P_1 &= 3.0 \\
 A_2 &= -0.41269 \times 10^{-2} & P_1 &= 4.0 \\
 A_3 &= 0.21236 \times 10^{-1} & P_1 &= 5.0 \\
 A_4 &= -0.13895 \times 10^{-1} & P_1 &= 6.0 \\
 A_5 &= 0.16631 \times 10^{-2} & P_1 &= 8.0 \\
 A_6 &= -0.12138 \times 10^{-3} & P_1 &= 10.0
 \end{aligned}$$

対物レンズの厚さ d_i' は、第2輪帯の形状を非球面形状式に従って光軸まで延長したときの光軸との交点と、第3面との光軸上の間隔を示している。図において、第2輪帯の幅は、 NAL から CD の必要開口数 NA_2 よりわ * ずかに大きい NAH まで、すなわち $1.279 \sim 1.532$ とされている。また、非球面は次式に基づくものである。

* ずかに大きい NAH まで、すなわち $1.279 \sim 1.532$ とされている。また、非球面は次式に基づくものである。

【数1】

$$X = \frac{H^2 / r}{1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa) (H / r)^2}} + \sum_j A_j H^{P_j}$$

但し X は光軸方向の軸、 H は光軸と垂直方向の軸、光の進行方向を正とし、 r は近軸曲率半径、 κ は円錐数、 A_j は非球面係数、 P_j は非球面のべき数（ただし、 $P_j \geq 3$ ）である。なお、本発明には、上式以外の他の非球面の式を用いてもよい。なお、非球面形状から非球面の式を求める際には、上式を用い、 P_j を $3 \leq P_j \leq 10$ の自然数とし、 $\kappa = 0$ として求める。

【0091】このように補正された対物レンズによる波面は、球面収差により、また屈折面の位置のずれにより、光路長の差を生じる。このため、収束点における各輪帯の光束の位相のずれにより、スポットの光強度は強い影響を受ける。例えば、位相差が波長の倍数であれば各輪帯の光束は互いに強めあうが、 $1/2$ 波長のずれがあれば反って弱めあうこととなる。光路長の差の調節は d_i' を適当に選択することによって行なわれるが、図10に d_i' の変化による 635nm 光と 780nm 光のピーク強度比の変化状況を示す。2つの波長のどちらにおいても強度の高い d_i' とするか、一方の波長では強度が高く他方の波長では低い d_i' とするかなど、目的に応じて自由な選択が可能となる。なお図では、 d_i' が $2.197 \sim 2.201$ の範囲を示したが、この周期性から、図示の範囲外でも、同様の干渉状況の位置を選択できることは云うまでもない。

【0092】上記データおよび図2に示す実施例における波面収差を図11に示す。同図(a)はDVD対応時、同図(b)はCD対応時を示す。同図(b)において、第1輪帯の光束と、第2輪帯の光束とは d_i' が 2.1979 の場合ほぼ2波長のずれがあり、収差曲線上での不連続がありながら、DVDのときはピーク強度比が 0.9 より大きく、CDのときはピーク強度比が 0.8 よりも大きくなっており、収束点では互いに干渉して強

めあっていることがわかる。また、DVD対応時には、第2輪帯の光束はその光束内での位相差が大きく、スポットの強度への影響はCD対応時と比較して小さいながら、ほぼ3波長のずれとなり、ピーク強度を高めるのに貢献している。

【0093】

【発明の効果】本発明の光ピックアップ用集光光学系は、上記のように記録再生を1つの集光光学系で行なうにあたり、このため光学系の構成が複雑となり、これにつれて使用部品点数が増加する、あるいは性能が低下するなどの問題が生ぜず、低コストで、精度の高い光学系を得ることが出来た。また、強い光強度を有するスポットを得ることが可能となり、さらに、光スポットのサイズを縮めることも可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光ピックアップ用光学系の1実施例の概略構成図である。

【図2】本発明を実施する光ピックアップ光学系用対物レンズの1実施例の断面図、薄い透明基板を介して集光するときの光路図および正面図である。

【図3】本発明を実施する光ピックアップ光学系用対物レンズの図2に示す実施例の厚い透明基板を介して集光するときの光路図である。

【図4】本発明を実施する光ピックアップ光学系用対物レンズの収差補正状況の説明図である。

【図5】本発明を実施する光ピックアップ光学系用対物レンズの収差補正状況における波面収差図である。

【図6】本発明を実施する光ピックアップ光学系用対物レンズの他の実施例の断面図および正面図である。

【図7】本発明を実施する光ピックアップ光学系の分割面の変位に伴うビームスポット強度の変化図である。

35

【図8】本発明を実施する光ピックアップ光学系の波面収差の補正状況の説明図である。

【図9】本発明を実施する光ピックアップ光学系用対物レンズの図2に示す実施例の球面収差図である。

【図10】本発明を実施する光ピックアップ光学系用対物レンズの図2に示す実施例の分割面の変位による635nm光と780nm光のピーク強度比の変化状況を示すグラフである。

【図11】本発明を実施する光ピックアップ光学系用対物レンズの図2に示す実施例の波面収差図である。

【符号の説明】

36

10 光ピックアップ
導体レーザ

12 偏光ビームスプリッタ
レンズ

14 1/4波長板
ユエータ

16 対物レンズ

18 シリンドリカルレンズ

20 光ディスク

10 22 情報記録面

111, 112 半

13 コリメータレ

15 2次元アクチ

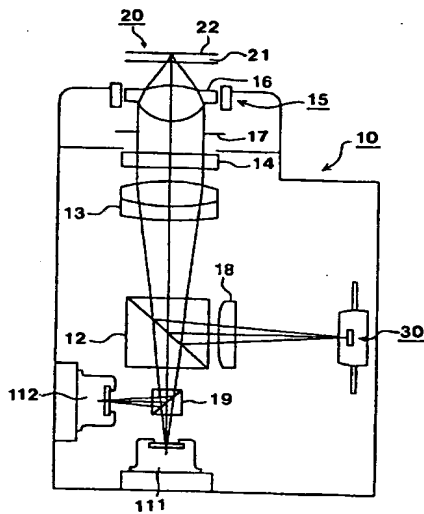
17 絞り

19 光束合成手段

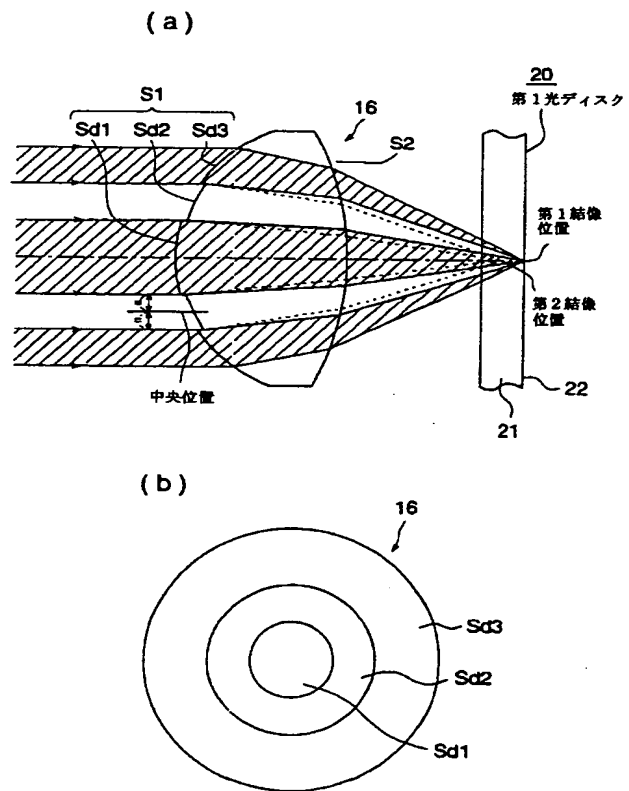
21 透明基板

30 光検出器

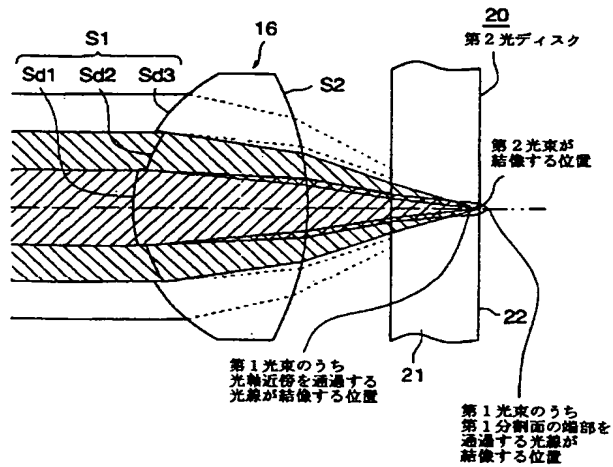
【図1】



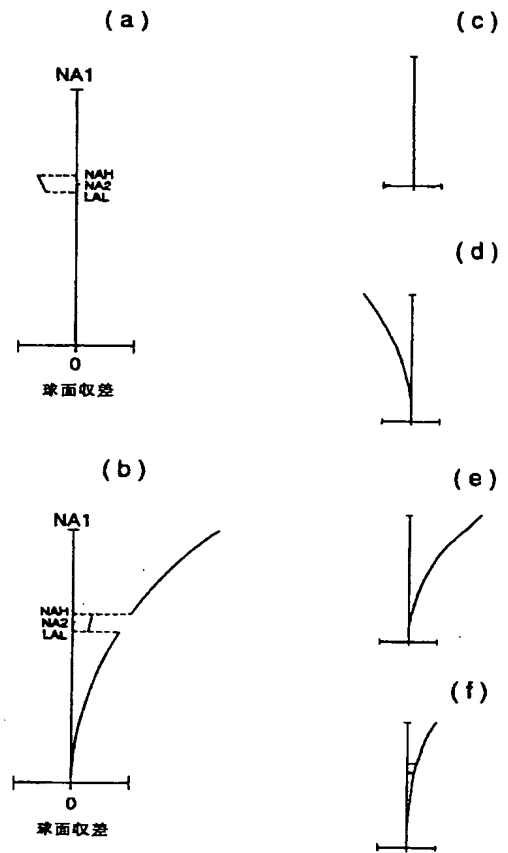
【図2】



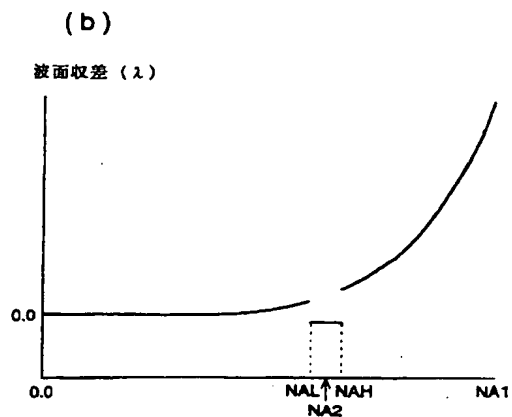
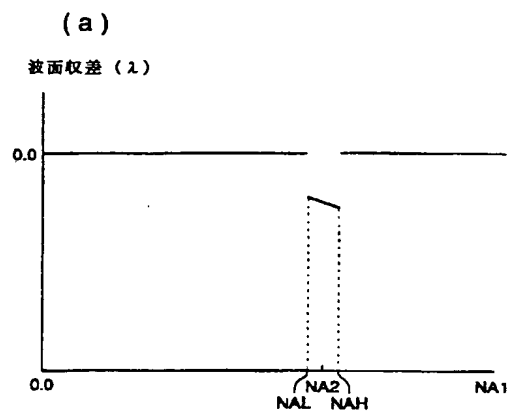
【図3】



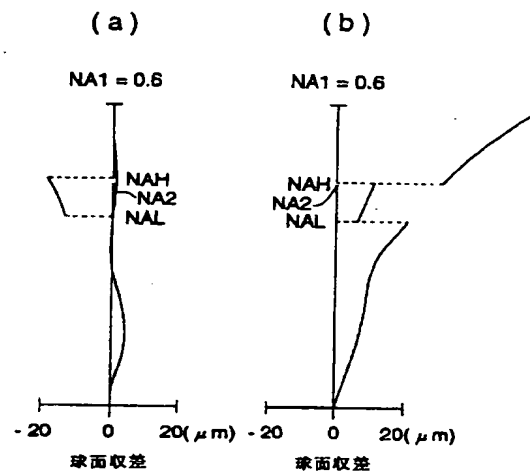
【図4】



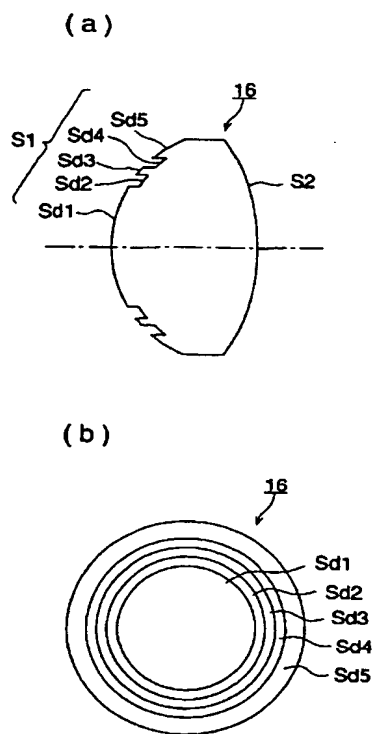
【図5】



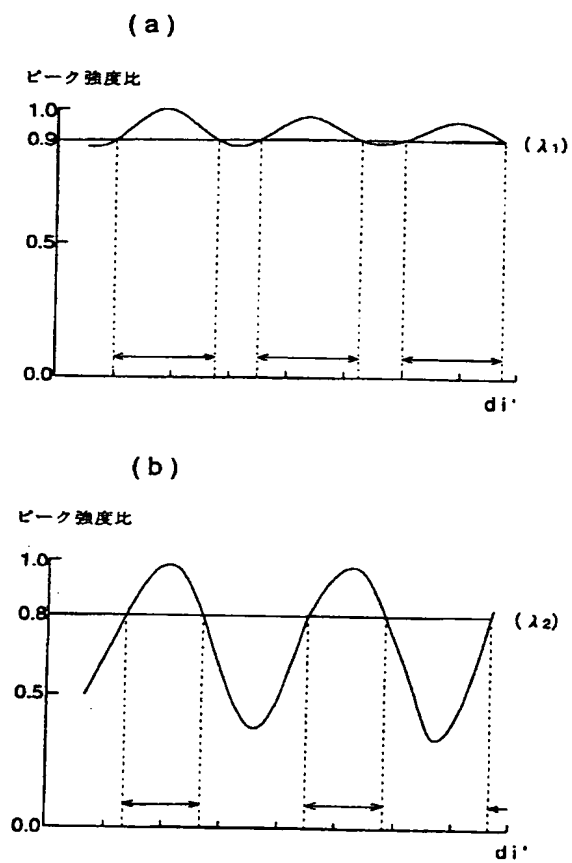
【図9】



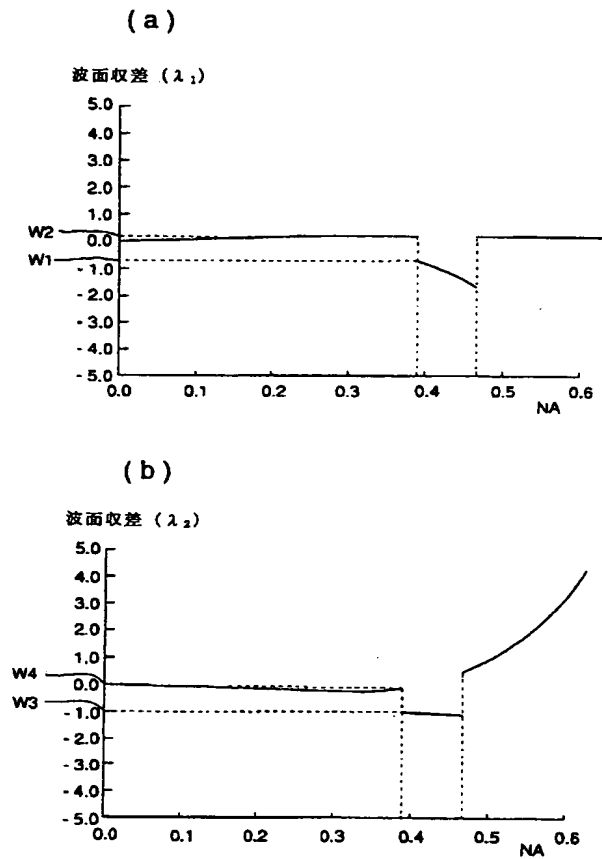
【図6】



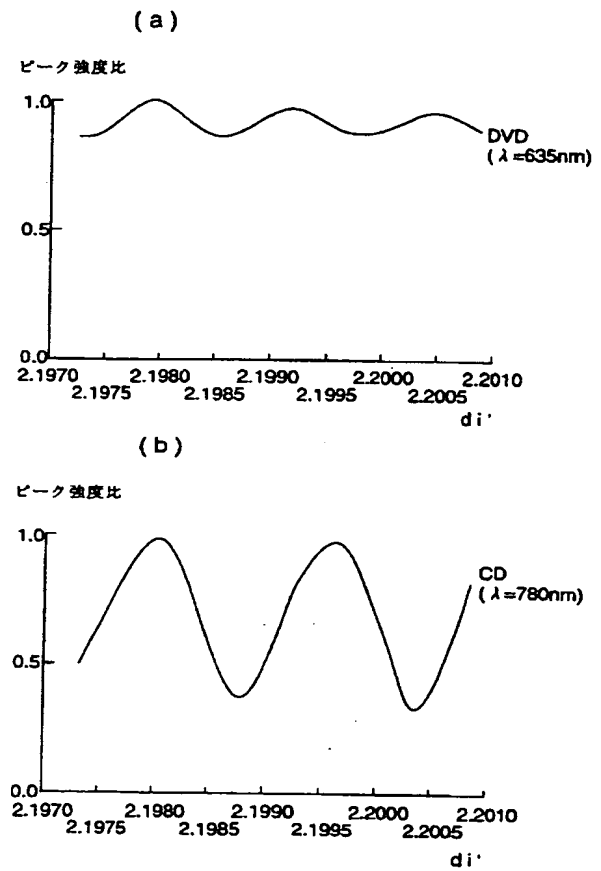
【図7】



【図8】

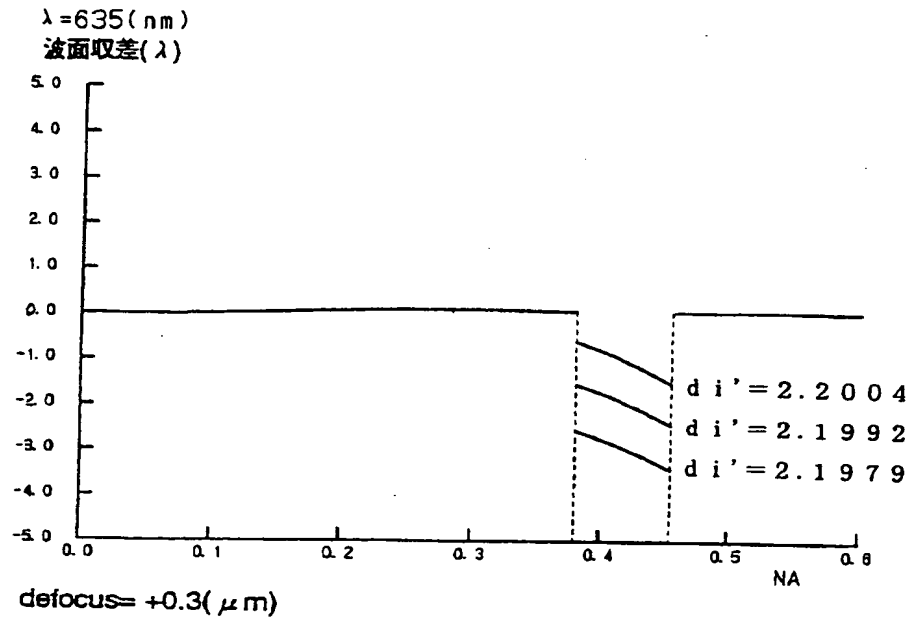


【図10】



【図11】

(a)



(b)

